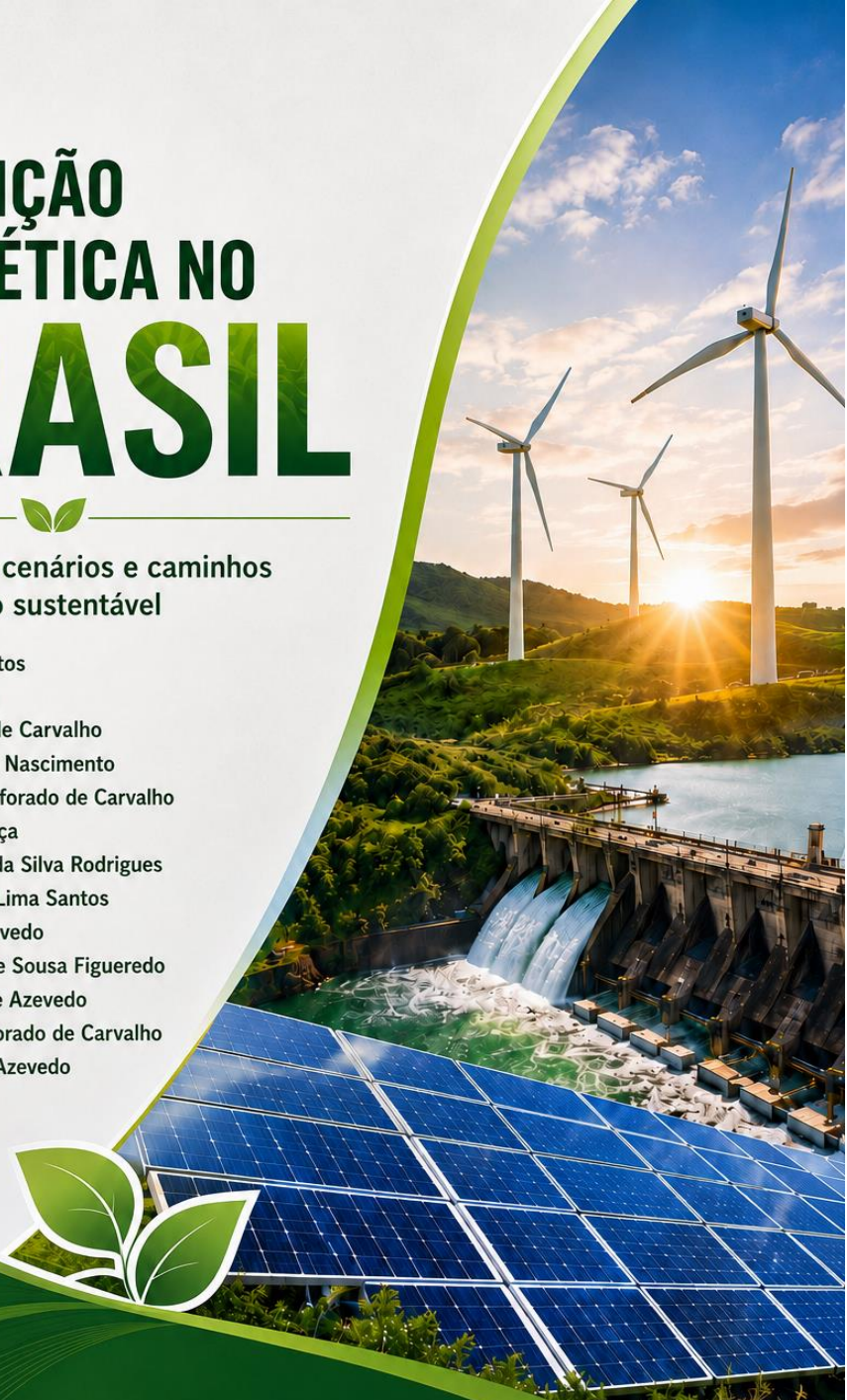
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL

Fundamentos, cenários e caminhos para um futuro sustentável

José Ozildo dos Santos
Gilliard Cruz Targino
Sílvio Marcos Lima de Carvalho
Abdalan Andrade do Nascimento
Laplace Guedes Alcoforado de Carvalho
Pedro Fernando Dança
Sindia Mara Pereira da Silva Rodrigues
Girlene Cordeiro de Lima Santos
Bruno de Araújo Azevedo
Wanderlan Waldez de Sousa Figueredo
Helenaldo Firmino de Azevedo
O'neill Guedes Alcoforado de Carvalho
Cláudia Carneiro de Azevedo



Gease

~ 2026

Transição energética no Brasil: Fundamentos, cenários e caminhos para um futuro sustentável

José Ozildo dos Santos
Gilliard Cruz Targino
Sílvio Marcos Lima de Carvalho
Abdalan Andrade do Nascimento
Laplace Guedes Alcoforado de Carvalho
Pedro Fernando Dança
Sindia Mara Pereira da Silva Rodrigues
Girlene Cordeiro de Lima Santos
Bruno de Araújo Azevedo
Wanderlan Waldez de Sousa Figueredo
Helenaldo Firmino de Azevedo
O'neill Guedes Alcoforado de Carvalho
Cláudia Carneiro de Azevedo

Gease 2026

CONSELHO EDITORIAL

Patrício Borges Maracajá - UFCG
Tatiana Cristina Vasconcelos - UEPB
Ennio Artur Aires Porto Ferreira - UNIFIP
Aline Carla de Medeiros - UFCG
José Ozildo dos Santos - UFCG
Aline Carla de Medeiros - UFCG
José Givaldo de Sousa - UNIP/UNIFIP
Danielly Carneiro de Azevedo - UFCG
Fernando Kidelmar Dantas de Oliveira - UFCG
Jakson Luís Galdino Dourado - UNIFIP
Alecksandra Vieira de Lacerda - UFCG
Silvia Regina Gobbo Rodrigues - UnB
Juliana Roriz Aarestrup - IFMT
Marisa Artmann – IFMT
Ênnyo José Barros de Araújo - FRCG
Samara Campos de Assis - UNIFIP
Rosângela Vieira Freire – IFCE
Eriana Serpa Barreto - UFMT

Ficha Catalográfica

Dados de Acordo com AACR2, CDU e CUTTER

C697

Transição energética no Brasil: Fundamentos, cenários e caminhos para um futuro sustentável/José Ozildo dos Santos... [et al.]. - Campina Grande-PB: Gease, 2026.
172 p. : il.
Inclui bibliografia
ISBN.: 978-65-02-25887-3

1. Transição energética. 2. Políticas públicas. 3. Sustentabilidade ambiental. I. Título. II. Santos, José Ozildo dos. III. Targino, Gilliard Cruz. IV. Carvalho, Sílvio Marcos Lima de. V. Nascimento, Abdalan Andrade do. VI. Carvalho, Laplace Guedes Alcoforado de. VII. Donça, Pedro Fernando. VIII. Rodrigues, Sindia Mara Pereira da Silva. IX. Santos, Girlene Cordeiro de Lima. X. Azevedo, Bruno de Araújo. XI. Figueredo, Wanderlan Waldez de Sousa. XII. Azevedo, Helenaldo Firmino de. XIII. Carvalho, O'neill Guedes Alcoforado de. XIV. Azevedo, Cláudia Carneiro de.

CDU 620.92

"A humanidade se encontra diante de um dilema: manter a atual matriz energética altamente poluente ou acelerar uma transição para fontes mais limpas e sustentáveis".

Santos et al. (2025)

Transição energética no Brasil: Fundamentos, cenários e caminhos para um futuro sustentável

Sumário

Apresentação..... 13

Transição energética: evolução histórica e construção do conceito..... 25

A importância da transição energética..... 37

Transição energética: algumas particularidades..... 49

Elementos essenciais da transição energética..... 59

A urgência da transição energética diante da crise climática..... 63

Os desafios da substituição dos combustíveis fósseis..... 69

Energias renováveis e a construção de uma

economia de baixo carbono..... 75

Políticas públicas, inovação e governança da transição energética..... 81

Perspectivas para uma transição energética sustentável..... 87

Transição energética e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável..... 91

O fortalecimento das energias renováveis como estratégia de desenvolvimento sustentável..... 99

O potencial energético brasileiro..... 101

A composição da matriz energética brasileira..... 105

A transição energética no Brasil..... 109

Perspectivas para o aproveitamento do potencial energético brasileiro..... 125

Os desafios da transição energética no Brasil..... 129

Conclusão..... 153

Referências..... 167

Sobre os autores..... 173

Apresentação

José Ozildo dos Santos
Doutorando do PPGEGRN - UFCG

A humanidade vivencia uma das mais profundas transformações de sua história recente no campo da energia. Durante mais de dois séculos, o desenvolvimento econômico mundial esteve fortemente alicerçado na utilização intensiva dos combustíveis fósseis, especialmente o carvão mineral, o petróleo e o gás natural, cuja elevada capacidade energética impulsionou a industrialização, a urbanização e a expansão dos sistemas de transporte, comunicação e produção.

Embora essas fontes tenham desempenhado papel decisivo na construção da sociedade contemporânea, seu uso prolongado revelou consequências ambientais de grande magnitude, destacando-se o aumento das emissões de gases de efeito estufa, o agravamento das mudanças climáticas, a intensificação dos eventos climáticos extremos e o comprometimento progressivo da qualidade ambiental em escala planetária. Nesse contexto, a necessidade de reestruturar os sistemas energéticos tornou-se um dos maiores desafios estratégicos do século XXI, inserindo a transição energética no centro das discussões científicas, econômicas, políticas e ambientais.

A crescente preocupação com os impactos decorrentes da exploração intensiva dos recursos fósseis fez emergir um

novo paradigma de desenvolvimento, fundamentado na busca por modelos produtivos mais eficientes, resilientes e ambientalmente responsáveis. A transição energética passou, assim, a representar muito mais do que a simples substituição de determinadas fontes de energia. Trata-se de um processo complexo, multidimensional e gradual, que envolve profundas transformações tecnológicas, institucionais, econômicas, sociais e culturais, exigindo elevados investimentos em inovação, infraestrutura, governança e planejamento de longo prazo. Sob essa perspectiva, a energia deixa de ser compreendida exclusivamente como insumo indispensável ao crescimento econômico para assumir posição estratégica na promoção do desenvolvimento sustentável, da justiça climática e da segurança energética.

Nas últimas décadas, organismos internacionais, centros de pesquisa, universidades e governos intensificaram os esforços voltados à construção de políticas capazes de promover a descarbonização das economias nacionais. A ampliação da participação das energias renováveis, a eletrificação de diversos setores produtivos, o desenvolvimento do hidrogênio verde, a modernização das redes elétricas, o armazenamento de energia, a digitalização dos sistemas energéticos e a implementação de mecanismos de precificação das emissões de carbono passaram a compor uma agenda global que busca compatibilizar crescimento econômico, inclusão social e preservação ambiental. Esse movimento evidencia que a transição energética não constitui uma tendência passageira, mas uma transformação estrutural

destinada a redefinir as bases do desenvolvimento nas próximas décadas.

Ao mesmo tempo, torna-se evidente que nenhum país realizará essa transformação seguindo modelos uniformes. As estratégias nacionais são condicionadas por fatores históricos, econômicos, geográficos, tecnológicos e institucionais próprios, refletindo as características específicas de cada matriz energética e de cada processo de desenvolvimento. Assim, compreender a transição energética exige analisar não apenas as tecnologias disponíveis, mas também os aspectos regulatórios, os instrumentos econômicos, a capacidade de inovação, os sistemas de governança e a participação dos diversos atores sociais envolvidos na formulação e implementação das políticas públicas.

O Brasil ocupa posição singular nesse cenário internacional. Poucos países dispõem de uma matriz elétrica tão fortemente baseada em fontes renováveis, resultado da histórica participação da geração hidrelétrica e da crescente expansão das energias eólica, solar e da bioenergia. Paralelamente, o país reúne condições naturais excepcionais para ampliar sua liderança na produção de energia limpa, beneficiando-se de elevada incidência solar, extensas áreas com elevado potencial eólico, disponibilidade de biomassa, recursos hídricos significativos e uma reconhecida competência científica em diversos segmentos relacionados às energias renováveis. Essas características colocam o Brasil em posição privilegiada para desempenhar papel relevante na consolidação de uma economia global de baixo carbono.

Entretanto, essas vantagens comparativas não eliminam os inúmeros desafios que acompanham a transição energética brasileira. A expansão das fontes renováveis requer investimentos contínuos na modernização das redes de transmissão e distribuição, no desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia, na formação de mão de obra qualificada, na produção científica, na inovação tecnológica e no fortalecimento dos instrumentos regulatórios capazes de proporcionar segurança jurídica aos investimentos. Soma-se a isso a necessidade de promover maior integração entre as políticas energéticas, ambientais, industriais, tecnológicas e educacionais, assegurando que os benefícios da transição sejam distribuídos de forma equilibrada entre as diferentes regiões do país.

É justamente nesse contexto que se insere a presente obra. Muito além de oferecer uma descrição das principais fontes renováveis ou das políticas energéticas atualmente em vigor, este livro procura apresentar uma análise abrangente acerca da evolução histórica da matriz energética brasileira, dos fundamentos conceituais da transição energética, dos desafios impostos pela crise climática e das oportunidades estratégicas associadas à construção de uma economia de baixo carbono. A abordagem adotada privilegia a integração entre diferentes áreas do conhecimento, reconhecendo que a compreensão dos sistemas energéticos demanda diálogo permanente entre as ciências ambientais, a economia, a engenharia, o direito, a administração pública, a geopolítica e as políticas de desenvolvimento sustentável.

Além disso, a obra busca oferecer ao leitor uma visão crítica e fundamentada acerca das múltiplas dimensões da transição energética, evidenciando que sua efetivação depende não apenas da disponibilidade de tecnologias limpas, mas também da construção de instituições sólidas, da continuidade das políticas públicas, da estabilidade regulatória, da participação ativa da sociedade e do fortalecimento da cooperação internacional. Dessa forma, procura-se demonstrar que a transformação da matriz energética representa um processo histórico de longa duração, cujos resultados serão determinados pela capacidade das sociedades de conciliar inovação tecnológica, responsabilidade ambiental, crescimento econômico e inclusão social.

A elaboração desta obra parte da compreensão de que a transição energética não pode ser analisada exclusivamente sob a ótica da substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis. Embora essa dimensão seja essencial, ela representa apenas um dos componentes de um processo muito mais amplo, que envolve profundas alterações nos modelos de desenvolvimento, nos padrões de produção e consumo, nas estratégias de planejamento estatal e nas formas pelas quais a sociedade organiza a utilização dos recursos naturais. A construção de uma matriz energética sustentável pressupõe a integração de políticas públicas, investimentos em ciência e tecnologia, fortalecimento institucional e ampla participação dos diferentes segmentos sociais, configurando um movimento que transcende os limites do setor energético e alcança praticamente todos os setores da economia.

Investir em energias renováveis significa não apenas proteger o meio ambiente, mas também fortalecer a estabilidade econômica, ampliar a competitividade industrial e criar condições favoráveis para o desenvolvimento tecnológico nacional. A presente obra foi concebida justamente com o propósito de contribuir para essa reflexão. Ao reunir fundamentos conceituais, análises históricas, discussões técnicas, aspectos regulatórios e perspectivas futuras da transição energética, busca oferecer ao leitor um panorama abrangente dos principais elementos que caracterizam essa transformação em curso.

Longe de apresentar respostas definitivas para questões que permanecem em constante evolução, este trabalho pretende estimular o pensamento crítico, incentivar o aprofundamento científico e favorecer o diálogo interdisciplinar entre pesquisadores, gestores públicos, profissionais do setor energético, estudantes e todos aqueles interessados na construção de um modelo de desenvolvimento ambientalmente sustentável, economicamente competitivo e socialmente inclusivo.

Ao longo dos capítulos que compõem esta obra, o leitor perceberá que a transição energética é apresentada como um fenômeno multidimensional, cuja compreensão exige o diálogo permanente entre diferentes campos do conhecimento. A engenharia contribui para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes; a economia analisa os impactos da transformação dos mercados energéticos e dos investimentos necessários; o direito oferece os instrumentos regulatórios que conferem segurança jurídica às políticas públicas; as ciências

ambientais avaliam os efeitos sobre os ecossistemas; a administração pública examina os mecanismos de governança; enquanto as ciências sociais investigam as implicações dessa mudança sobre as relações de trabalho, os padrões de consumo, a organização dos territórios e a qualidade de vida das populações. Essa perspectiva interdisciplinar constitui um dos principais referenciais teóricos adotados neste livro.

Nesse contexto, procurou-se construir uma abordagem que ultrapassasse as interpretações simplificadas frequentemente presentes no debate público. Embora as energias renováveis representem componente essencial da descarbonização da economia, a experiência internacional demonstra que sua expansão depende de um conjunto de fatores estruturais que incluem planejamento estratégico, capacidade institucional, estabilidade regulatória, investimentos em infraestrutura, desenvolvimento científico e formação de recursos humanos altamente qualificados. Assim, a substituição das fontes fósseis por alternativas de baixa emissão deve ser compreendida como parte de um processo mais amplo de reorganização econômica e tecnológica, cuja efetividade dependerá da capacidade das sociedades de promover transformações profundas em seus modelos de desenvolvimento.

A presente obra também evidencia que a inovação tecnológica ocupa posição central na consolidação da transição energética. O aperfeiçoamento contínuo dos sistemas de geração solar e eólica, o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao armazenamento de energia, a implantação de redes elétricas inteligentes, a expansão da mobilidade elétrica,

a produção de hidrogênio de baixo carbono, a captura e utilização de carbono e o fortalecimento da bioeconomia representam apenas alguns dos inúmeros avanços científicos que vêm modificando profundamente o setor energético mundial. Entretanto, o simples desenvolvimento dessas tecnologias não assegura sua ampla utilização. Sua difusão depende da existência de ambientes institucionais favoráveis, de mecanismos de financiamento adequados, de segurança jurídica, de incentivos econômicos e de políticas públicas capazes de estimular investimentos de longo prazo.

Outro tema recorrente ao longo desta obra refere-se à necessidade de compatibilizar crescimento econômico e proteção ambiental. Durante décadas, esses objetivos foram frequentemente apresentados como interesses conflitantes. Entretanto, a literatura científica contemporânea demonstra que a expansão das energias renováveis pode constituir importante vetor de desenvolvimento econômico, geração de empregos qualificados, fortalecimento da competitividade industrial, ampliação da segurança energética e redução das desigualdades regionais. Sob essa perspectiva, investir em tecnologias limpas deixa de representar apenas uma estratégia ambiental para assumir papel central na formulação de políticas voltadas ao crescimento sustentável, à inovação e à inserção competitiva das economias nacionais em um mercado internacional progressivamente orientado pelos princípios da descarbonização.

O presente livro procura igualmente demonstrar que a transição energética deve ser conduzida de forma socialmente justa. Os benefícios decorrentes da expansão das

energias renováveis precisam alcançar diferentes segmentos da população, evitando que as desigualdades econômicas e territoriais sejam reproduzidas durante o processo de transformação da matriz energética. Assim, políticas públicas voltadas à qualificação profissional, à geração de empregos, ao fortalecimento das economias locais e à democratização do acesso às novas tecnologias assumem importância estratégica para assegurar que a transição energética contribua efetivamente para a promoção do desenvolvimento sustentável em suas dimensões econômica, ambiental e social.

Além da abordagem técnica e conceitual, este livro procura estimular uma reflexão crítica sobre os rumos da política energética brasileira diante das profundas transformações observadas no cenário internacional. Mais do que descrever tecnologias ou apresentar estatísticas, ele busca oferecer instrumentos analíticos que permitam compreender os desafios, as oportunidades e as responsabilidades inerentes à construção de uma matriz energética compatível com os compromissos climáticos assumidos pelo Brasil e com as demandas de uma sociedade que aspira a um modelo de desenvolvimento mais equilibrado, resiliente e comprometido com as futuras gerações.

A organização desta obra foi concebida de forma a permitir ao leitor acompanhar, de maneira progressiva e sistemática, a evolução dos principais debates que permeiam a transição energética contemporânea. Os capítulos foram estruturados de modo a estabelecer uma sequência lógica entre os fundamentos conceituais, a evolução histórica das matrizes energéticas, os desafios tecnológicos, os instrumentos

regulatórios, os aspectos econômicos e as perspectivas futuras para a consolidação de uma economia de baixo carbono. Essa organização procura favorecer uma compreensão integrada do tema, permitindo que cada capítulo complemente os anteriores e amplie gradativamente a compreensão acerca das múltiplas dimensões que caracterizam a transformação energética atualmente em curso.

A obra também reserva espaço significativo para a análise da realidade brasileira. Ao longo do texto, evidencia-se que o Brasil reúne condições particularmente favoráveis para consolidar uma posição de destaque na economia mundial de baixo carbono. A abundância de recursos naturais, a elevada participação das fontes renováveis na matriz elétrica, a experiência acumulada na produção de biocombustíveis, a crescente expansão da energia solar e eólica e o potencial para produção de hidrogênio verde configuram vantagens estratégicas que poderão fortalecer a competitividade nacional nas próximas décadas. Entretanto, o aproveitamento pleno dessas oportunidades dependerá da capacidade do país de promover investimentos consistentes em infraestrutura, inovação tecnológica, qualificação profissional e aperfeiçoamento institucional.

Especial atenção é dedicada, igualmente, aos desafios relacionados à governança da transição energética. Demonstra-se que a consolidação de uma matriz energética sustentável exige estabilidade regulatória, segurança jurídica, coordenação entre os diferentes níveis de governo e participação ativa da iniciativa privada, das universidades, dos centros de pesquisa e da sociedade civil organizada. Nesse sentido, a formulação

de políticas públicas consistentes, articuladas e orientadas por objetivos de longo prazo constitui requisito indispensável para assegurar continuidade às transformações necessárias e evitar que mudanças conjunturais comprometam a efetividade dos programas de descarbonização.

Ao mesmo tempo, o presente livro enfatiza que a transição energética somente poderá alcançar resultados socialmente legítimos se estiver acompanhada da promoção da justiça social e da redução das desigualdades. A expansão das energias renováveis deve contribuir para a geração de empregos qualificados, a interiorização do desenvolvimento econômico, o fortalecimento das cadeias produtivas regionais e a democratização do acesso à energia limpa. Dessa forma, a sustentabilidade deixa de ser compreendida exclusivamente como proteção ambiental para incorporar, igualmente, dimensões econômicas, sociais e institucionais, compatibilizando crescimento econômico, inclusão social e conservação dos recursos naturais.

Outro aspecto relevante presente ao longo desta publicação refere-se ao reconhecimento de que a transição energética permanece em permanente construção. Novas tecnologias, mudanças nos mercados internacionais, avanços científicos, alterações regulatórias e transformações geopolíticas continuarão influenciando os rumos desse processo nas próximas décadas. Por essa razão, este livro não pretende apresentar conclusões definitivas acerca de um tema essencialmente dinâmico. Seu propósito consiste em oferecer bases conceituais sólidas, informações atualizadas e elementos analíticos que contribuam para ampliar a compreensão crítica

sobre uma das mais importantes transformações estruturais da sociedade contemporânea.

Nesse sentido, espera-se que esta obra contribua para fortalecer o debate acadêmico, subsidiar a formulação de políticas públicas, orientar pesquisas científicas e estimular novas reflexões acerca dos caminhos que conduzirão o Brasil à consolidação de uma matriz energética cada vez mais limpa, eficiente, resiliente e socialmente inclusiva. Ao reunir diferentes perspectivas teóricas e dialogar com a produção científica nacional e internacional, pretende-se oferecer ao leitor um instrumento de estudo e consulta capaz de acompanhar a crescente complexidade das discussões relacionadas à energia, ao clima e ao desenvolvimento sustentável.

Campina Grande-PB,
julho de 2026

Transição energética: evolução histórica e construção do conceito

A transição energética constitui um fenômeno histórico que acompanha a própria evolução da civilização. Ao longo do desenvolvimento das sociedades, diferentes matrizes energéticas foram sendo gradualmente substituídas em resposta às transformações econômicas, tecnológicas e sociais que marcaram cada período histórico. Essas mudanças não ocorreram de maneira abrupta, mas resultaram de processos contínuos de adaptação, nos quais novas fontes de energia passaram a oferecer maior eficiência, qualidade e capacidade de atender às crescentes demandas por calor, iluminação, transporte e força motriz.

A substituição da lenha pelo carvão mineral e, posteriormente, a ascensão do petróleo como principal fonte de energia primária constituem exemplos emblemáticos dessas transformações, sendo esta última responsável também por impulsionar a expansão da eletricidade como energia secundária indispensável ao

desenvolvimento industrial e urbano contemporâneo (JANNUZZI, 2024).

Sob essa perspectiva histórica, a transição energética não representa um fenômeno inédito nem um evento isolado. Trata-se de um processo contínuo de reorganização das bases materiais que sustentam o funcionamento das sociedades, no qual fatores tecnológicos, econômicos e institucionais se articulam para redefinir os sistemas de produção, distribuição e consumo de energia.

Cada transição incorpora elementos herdados da anterior, evidenciando que as mudanças na matriz energética são cumulativas e ocorrem em horizontes temporais prolongados, frequentemente medidos em décadas, o que demonstra a complexidade inerente à evolução dos sistemas energéticos (MONTEIRO NETO, 2024).

Nas últimas décadas, entretanto, a transição energética assumiu posição central na agenda internacional em razão da crescente preocupação com as mudanças climáticas e com a necessidade de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis. Nesse contexto, a expansão das fontes renováveis passou a ser apresentada como um dos principais instrumentos para enfrentar o aquecimento global.

No entanto, reduzir a transição energética à simples substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis pode conduzir a interpretações simplificadas. A ideia de descarbonização da economia, embora fundamental para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, não contempla, por si só, toda a complexidade do sistema energético, uma vez que a produção, a distribuição e o consumo de energias renováveis também geram impactos ambientais, econômicos e sociais que precisam ser considerados no planejamento dessa transformação (MATICOLLI, 2025).

É importante destacar que a evolução conceitual da transição energética também acompanha as mudanças verificadas na agenda internacional da energia. Durante as décadas de 1970 e 1980, predominavam as preocupações relacionadas à segurança energética, sobretudo em decorrência das crises do petróleo e da possibilidade de escassez dos combustíveis fósseis.

Com a publicação do Relatório Brundtland e a consolidação do conceito de desenvolvimento sustentável, o debate passou gradativamente a incorporar as questões ambientais, especialmente, aquelas relacionadas às emissões de gases de efeito estufa e às mudanças climáticas. Ao mesmo tempo, novos atores governamentais, empresariais e da sociedade civil passaram a desempenhar papel relevante na formulação

e implementação de políticas voltadas à mitigação desses impactos (SIEBRA; ABREU, 2022).

Essa evolução permitiu ampliar de forma significativa o entendimento acerca da transição energética. Atualmente, ela é compreendida como a passagem de um modelo energético baseado em recursos fósseis, concentrados, esgotáveis e fortemente impactantes ao meio ambiente para outro fundamentado em fontes renováveis, descentralizadas e sustentáveis.

Nessa nova perspectiva, a energia deixa de ser vista exclusivamente como uma *commodity* e passa a ser compreendida como um bem estratégico para a promoção do desenvolvimento sustentável, da justiça social e da preservação ambiental (SVAMPA; BERTINAT, 2022).

Mais do que uma transformação tecnológica, a transição energética representa um processo de natureza sociotécnica, institucional e cultural. Sua implementação envolve profundas mudanças nas estruturas de poder, nos modelos de produção, nos hábitos de consumo e nas formas pelas quais a sociedade se relaciona com os recursos naturais.

É importante ressaltar que a transição energética busca conciliar competitividade econômica, inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental, exigindo alterações nas instituições, nas rotinas organizacionais e

nas crenças que historicamente sustentaram a predominância dos combustíveis fósseis (FERREIRA; GONÇALVES, 2022).

Essa dimensão sociotécnica também evidencia que a transição energética deve ser compreendida como um fenômeno profundamente condicionado pelos contextos geopolíticos e territoriais. Sua dinâmica envolve governos, empresas, instituições multilaterais, comunidades locais e organizações da sociedade civil, cujos interesses frequentemente convergem ou entram em conflito na definição das estratégias de implementação das políticas energéticas. Logo, o processo transcende os limites das questões técnicas ou econômicas, assumindo caráter eminentemente político e territorial (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024).

A governança energética constitui outro elemento essencial na construção desse conceito. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), os sistemas energéticos mundiais atravessam um período de profundas transformações caracterizadas pela ruptura de tecnologias, mercados e modelos de negócios consolidados.

Nesse contexto, destacam-se três pilares estruturantes [digitalização, descarbonização e descentralização] que redefinem a organização dos sistemas energéticos contemporâneos e impulsionam a

transição para matrizes mais limpas, eficientes e resilientes (SIEBRA; ABREU, 2022).

Sob outra perspectiva, a transição energética integra um processo ainda mais amplo de transformação social voltado à sustentabilidade. Isso significa que ela não se restringe à substituição das fontes de geração de energia, mas envolve igualmente mudanças estruturais nos padrões de consumo, na eficiência energética, na eletrificação de diversos setores produtivos e no desenvolvimento de novas rotas tecnológicas, como a produção de hidrogênio de baixo carbono. Além disso, busca ampliar o acesso universal aos serviços energéticos, promovendo inclusão social, igualdade de gênero, geração de emprego e sustentabilidade econômica e ambiental (JANNUZZI, 2024).

É oportuno ressaltar que as atuais estruturas energéticas permanecem fortemente condicionadas pela predominância dos combustíveis fósseis, cuja estabilidade resulta da interação entre infraestrutura, mercados, instituições e padrões de consumo construídos ao longo de décadas. Por essa razão, a transição energética exige profundas mudanças estruturais capazes de compatibilizar o atendimento às necessidades humanas presentes e futuras com a preservação dos sistemas naturais. Nesse contexto, consolidou-se o entendimento de que a substituição gradual da matriz

baseada em combustíveis fósseis por fontes renováveis representa uma das principais estratégias para enfrentar os desafios ambientais globais e assegurar a sustentabilidade das futuras gerações (FRIGO; CANEPPELE; GODINHO, 2023).

A literatura especializada também demonstra que a transição energética não pode ser compreendida exclusivamente a partir das mudanças ocorridas na oferta de energia. Trata-se de um processo que alcança igualmente os setores consumidores, modificando tecnologias de uso final e os próprios padrões de consumo energético.

A incorporação de inovações tecnológicas, como a disseminação da iluminação por lâmpadas LED, ilustra como mudanças aparentemente localizadas podem produzir impactos significativos na redução do consumo energético. Nesse contexto, tanto as preferências do mercado quanto as políticas públicas exercem influência direta sobre a velocidade, a abrangência e as diferentes trajetórias da transição energética (JANNUZZI, 2024).

Sob a ótica das transições sociotécnicas, a transformação da matriz energética integra um processo ainda mais amplo de transição para a sustentabilidade. Isso significa que as mudanças necessárias não se restringem à substituição de determinadas fontes de energia, mas abrangem profundas alterações nas estruturas produtivas, institucionais e sociais que sustentam os atuais modelos de desenvolvimento.

A transição energética, portanto, constitui apenas uma das dimensões de uma transformação estrutural voltada à

construção de sociedades ambientalmente sustentáveis, economicamente resilientes e socialmente inclusivas (FERREIRA; GONÇALVES, 2022).

Essa compreensão amplia significativamente o conceito contemporâneo de transição energética. O consenso científico atual indica que a transformação desejada envolve, simultaneamente, a ampliação da participação das fontes renováveis, o aumento da eficiência energética, a eletrificação de diversos setores produtivos e o desenvolvimento de novas rotas tecnológicas para conversão da energia primária, entre as quais se destaca a produção de hidrogênio.

Paralelamente, torna-se indispensável assegurar o acesso universal aos serviços energéticos, conciliando sustentabilidade ambiental, inclusão social, igualdade de gênero, geração de empregos e custos economicamente acessíveis para a população (JANNUZZI, 2024).

As estruturas energéticas atualmente predominantes permanecem fortemente ancoradas na utilização dos combustíveis fósseis, cuja estabilidade resulta da interação histórica entre infraestrutura, mercados, tecnologias, políticas públicas e padrões consolidados de consumo. Essa realidade torna o processo de transformação particularmente complexo, uma vez que envolve a substituição gradual de sistemas consolidados ao longo de muitos anos.

A necessidade de equilibrar o atendimento às demandas energéticas da sociedade contemporânea com a preservação ambiental evidencia a importância da transição energética como estratégia destinada a substituir progressivamente a atual matriz fóssil por fontes renováveis e

ambientalmente sustentáveis (FRIGO; CANEPPELE; GODINHO, 2023).

A natureza multidimensional desse processo também se manifesta em seus efeitos políticos, econômicos e territoriais. A disponibilidade de recursos naturais, infraestrutura tecnológica e capacidade institucional faz com que determinadas regiões apresentem maior potencial para o desenvolvimento de energias renováveis e para a geração dos chamados empregos verdes.

Em contrapartida, áreas cuja economia permanece fortemente dependente da exploração de combustíveis fósseis podem enfrentar impactos negativos no curto prazo, especialmente quanto ao emprego e ao desempenho econômico regional. Essas diferenças demonstram que a transição energética produz efeitos distintos sobre os territórios, exigindo políticas públicas capazes de reduzir desigualdades e promover processos de adaptação econômica (FERREIRA; GONÇALVES, 2022).

Essa diversidade de impactos reforça o entendimento de que a transição energética deve ser analisada sob uma perspectiva sistêmica. A ciência pós-normal propõe que sua compreensão ultrapasse os aspectos puramente tecnológicos, incorporando as dimensões sociais, culturais, políticas e territoriais que condicionam sua implementação.

Particularmente na América Latina, torna-se imprescindível considerar as relações históricas de poder, os processos de colonialidade e as disputas em torno da gestão dos recursos naturais, fatores que influenciam diretamente a formulação das políticas energéticas e a distribuição de seus

benefícios e custos entre os diferentes grupos sociais (LAMPIS et al., 2021).

Nessa perspectiva ampliada, a transição energética não se limita ao objetivo da descarbonização da economia. Seu alcance envolve uma profunda redefinição da relação estabelecida entre sociedade e natureza, bem como mudanças nos padrões de consumo, nos modelos de desenvolvimento e nas relações sociais.

Tal compreensão permite distinguir processos efetivamente transformadores de propostas que promovem apenas reformas parciais ou soluções superficiais, incapazes de enfrentar as causas estruturais da crise ambiental contemporânea (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024).

Sob essa ótica, consolidou-se o conceito de transição energética justa, cuja implementação pressupõe a integração entre sustentabilidade ambiental, crescimento econômico e inclusão social. Esse modelo procura assegurar que os benefícios decorrentes da transformação da matriz energética sejam distribuídos de forma equitativa, promovendo proteção ambiental, fortalecimento da economia verde e ampliação das oportunidades de desenvolvimento para diferentes segmentos da sociedade (KISSEL, 2023).

Embora exista amplo consenso acerca da necessidade da transição energética, sua concretização não ocorrerá de forma uniforme entre os diferentes países. Aspectos econômicos, institucionais e políticos condicionam o ritmo dessa transformação, uma vez que substituir uma infraestrutura energética construída ao longo de séculos demanda elevados investimentos financeiros,

desenvolvimento tecnológico, planejamento de longo prazo e reestruturação das cadeias produtivas. Em consequência, a transição para matrizes predominantemente renováveis representa muito mais que uma simples mudança tecnológica, constituindo uma profunda reorganização do sistema energético global (SMIL, 2015).

A evolução histórica e conceitual da transição energética demonstra, portanto, que esse fenômeno não pode ser reduzido à substituição de determinadas fontes de energia. Trata-se de um processo histórico, gradual e multifacetado que envolve transformações tecnológicas, institucionais, econômicas, sociais, culturais e ambientais. Sua consolidação depende da articulação entre inovação, governança, políticas públicas e participação social, evidenciando que a construção de sistemas energéticos sustentáveis constitui um dos maiores desafios estruturais do século XXI (MONTEIRO NETO, 2024; GASPAR FILHO; SANTOS, 2022).

A importância da transição energética

A transição energética consolidou-se como um dos temas centrais da agenda internacional contemporânea, em razão de sua estreita relação com o enfrentamento das mudanças climáticas, a promoção do desenvolvimento sustentável e a garantia da segurança energética. A crescente demanda mundial por energia, aliada aos impactos ambientais decorrentes do uso intensivo dos combustíveis fósseis, tem impulsionado governos, organismos internacionais, instituições de pesquisa e o setor produtivo a buscarem alternativas capazes de assegurar o abastecimento energético sem comprometer os recursos naturais nem agravar o aquecimento global. Nesse contexto, a transição energética deixa de representar apenas uma opção tecnológica para tornar-se uma estratégia indispensável à sustentabilidade econômica, social e ambiental das nações (GALLO; PROENÇA, 2025).

A importância desse processo decorre, inicialmente, de sua contribuição para a redução das emissões de gases de efeito estufa. A substituição gradual das fontes fósseis por fontes renováveis reduz significativamente a emissão de

dióxido de carbono e de outros poluentes atmosféricos, contribuindo para limitar os efeitos das mudanças climáticas.

Entretanto, diversos estudos ressaltam que a descarbonização não deve ser entendida como um fim em si mesma, mas como parte de um processo mais amplo de transformação dos sistemas energéticos, dos padrões de produção e das formas de consumo, condição indispensável para assegurar resultados ambientalmente efetivos (MATICOLLI, 2025).

Além da substituição das fontes energéticas, a transição requer o fortalecimento da eficiência energética em todos os segmentos da economia. Modelos científicos demonstram que os maiores ganhos ambientais não decorrem apenas da expansão das energias renováveis ou da eletrificação dos transportes, mas também da utilização mais racional da energia disponível.

O aumento da eficiência dos processos produtivos, a disseminação da geração distribuída, especialmente por meio da energia fotovoltaica, e a adoção de tecnologias capazes de reduzir perdas energéticas constituem elementos fundamentais para consolidar uma economia de baixo carbono (MATICOLLI, 2025).

Cabe ressaltar que a transição energética também desempenha papel estratégico na promoção da segurança energética. Ao ampliar a participação de fontes renováveis disponíveis nos próprios territórios nacionais, reduz-se a dependência da importação de combustíveis fósseis, fortalecendo a autonomia dos países diante das oscilações do mercado internacional e das crises geopolíticas.

Em consequência, sistemas energéticos mais diversificados e descentralizados tornam-se mais resilientes, assegurando maior estabilidade ao fornecimento de energia e reduzindo riscos associados à concentração das fontes tradicionais (GASPAR FILHO; SANTOS, 2022).

Sob o ponto de vista econômico, a transição energética representa uma importante oportunidade para impulsionar o crescimento sustentável. A expansão das energias renováveis estimula investimentos em infraestrutura, inovação tecnológica e desenvolvimento industrial, ao mesmo tempo em que favorece a criação de novos mercados e fortalece cadeias produtivas associadas às tecnologias limpas.

A consolidação da economia verde, nesse cenário, amplia as possibilidades de geração de riqueza compatível com a preservação ambiental e com a utilização racional dos recursos naturais. De acordo com um estudo publicado pela Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2019), o processo de transição energética envolve seis paradigmas centrais. São eles:

i) redução dos custos de produção;

ii) endereçamento de respostas aos problemas de poluição e à mudança climática;

iii) metas pactuadas entre os países para aumento da participação das energias renováveis nas matrizes energéticas nacionais;

iv) incentivo à inovação tecnológica;

v) engajamento de ações e soluções a partir de grandes investidores e corporações para a sociedade; e

vi) fortalecimento das iniciativas oriundas da sociedade civil organizada para o engajamento cidadão na questão do clima e na redução da poluição

Diante disto, percebe-se que a transição energética não deve ser compreendida apenas como um processo de substituição de fontes fósseis por fontes renováveis, mas como uma transformação estrutural que envolve dimensões econômicas, ambientais, tecnológicas, institucionais e sociais. Os seis paradigmas identificados pela agência demonstram que a efetividade da transição depende da atuação coordenada de governos, setor produtivo, comunidade científica e sociedade civil, refletindo a complexidade inerente à construção de sistemas energéticos sustentáveis.

O primeiro paradigma, relacionado à redução dos custos de produção, destaca que a competitividade econômica das fontes renováveis constitui um fator decisivo para sua expansão. O avanço tecnológico, aliado aos ganhos de escala e ao aperfeiçoamento dos processos produtivos, tem reduzido significativamente os custos de geração da energia solar e eólica, favorecendo sua inserção nas matrizes energéticas nacionais e ampliando sua capacidade de competir com os combustíveis fósseis. A redução dos custos representa, portanto, um elemento estratégico para acelerar a adoção de tecnologias limpas e ampliar o acesso da população à energia sustentável.

O segundo paradigma evidencia que a transição energética está diretamente associada ao enfrentamento dos problemas de poluição e das mudanças climáticas. A substituição gradual das fontes fósseis contribui para reduzir

as emissões de gases de efeito estufa, melhorar a qualidade do ar e minimizar os impactos ambientais decorrentes da exploração intensiva dos recursos naturais. Nesse sentido, a transição energética assume papel central na implementação dos compromissos internacionais voltados à mitigação das mudanças climáticas e à promoção do desenvolvimento sustentável.

O estabelecimento de metas internacionais para ampliar a participação das energias renováveis nas matrizes energéticas nacionais constitui o terceiro paradigma destacado pela IRENA. Esse aspecto evidencia que a transição energética depende de compromissos políticos assumidos pelos Estados, materializados por meio de políticas públicas, instrumentos regulatórios e mecanismos de cooperação internacional. A definição de metas comuns favorece a coordenação das ações governamentais, proporciona maior segurança aos investidores e fortalece o compromisso coletivo com a construção de uma economia de baixo carbono.

O quarto paradigma enfatiza a importância da inovação tecnológica como elemento propulsor da transformação energética. O desenvolvimento de novas tecnologias de geração, armazenamento, transmissão e gestão inteligente da energia amplia a eficiência dos sistemas energéticos e reduz os custos de implantação das fontes renováveis. Além disso, a inovação favorece o surgimento de novos modelos de negócio, fortalece a competitividade industrial e estimula investimentos em pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico.

O quinto paradigma reconhece que o sucesso da transição energética depende da participação ativa do setor privado. Grandes investidores, empresas e instituições financeiras desempenham papel fundamental na mobilização dos recursos necessários para financiar projetos de infraestrutura, acelerar a difusão das tecnologias limpas e incorporar critérios ambientais, sociais e de governança (ESG) às estratégias corporativas. Dessa forma, a transição energética deixa de ser uma responsabilidade exclusiva dos governos e passa a constituir um compromisso compartilhado entre os diferentes agentes econômicos.

Finalmente, o sexto paradigma destaca o protagonismo da sociedade civil organizada na consolidação da transição energética. Organizações não governamentais, movimentos sociais, universidades, associações comunitárias e demais instituições da sociedade exercem importante função na sensibilização da população, na fiscalização das políticas públicas e na promoção da participação cidadã nas questões relacionadas às mudanças climáticas e à redução da poluição. Esse paradigma demonstra que a construção de um sistema energético sustentável depende não apenas de avanços tecnológicos e investimentos econômicos, mas também do fortalecimento da consciência ambiental e do engajamento coletivo.

Em conjunto, esses seis paradigmas revelam que a transição energética constitui um processo sistêmico e multidimensional, no qual competitividade econômica, sustentabilidade ambiental, cooperação internacional, inovação tecnológica, participação do setor privado e

mobilização social atuam de forma complementar. A convergência desses elementos cria as condições necessárias para acelerar a transformação das matrizes energéticas, fortalecer a segurança energética e promover um modelo de desenvolvimento capaz de conciliar crescimento econômico, justiça social e preservação ambiental (IRENA, 2019).

A geração de empregos constitui outro aspecto que evidencia a relevância da transição energética. O crescimento dos setores de energia solar, eólica, biomassa e outras fontes renováveis tem proporcionado expressiva expansão dos chamados empregos verdes em diversas regiões do mundo. As projeções internacionais indicam que o número de postos de trabalho vinculados às energias renováveis continuará aumentando nas próximas décadas, tornando-se um importante vetor de desenvolvimento regional, inclusão produtiva e dinamização econômica (IRENA, 2019).

Diversos países já demonstram, na prática, os benefícios decorrentes da implementação de políticas voltadas à transição energética. A adoção de mecanismos econômicos destinados à redução das emissões de carbono, como taxas sobre combustíveis fósseis e metas periódicas de redução das emissões, evidencia que instrumentos regulatórios podem estimular investimentos em energias renováveis e acelerar a transformação das matrizes energéticas nacionais. Essas experiências internacionais reforçam a importância das políticas públicas como instrumentos capazes de orientar investimentos, promover inovação e ampliar a competitividade econômica em bases sustentáveis (VEIGA, 2019).

No contexto brasileiro, a transição energética também representa oportunidade estratégica para fortalecer a indústria nacional. O incentivo à produção doméstica de equipamentos destinados à geração de energia eólica e solar, associado aos investimentos em infraestrutura energética, pode ampliar a capacidade tecnológica do país, gerar empregos qualificados e reduzir a dependência de equipamentos importados. A expansão observada no setor eólico brasileiro demonstra o potencial econômico associado ao fortalecimento das cadeias produtivas vinculadas às energias renováveis (MOREIRA, 2019).

Ademias, apesar dos avanços já alcançados, persistem desafios tecnológicos, econômicos e institucionais para a expansão das fontes renováveis em larga escala. No entanto, a evolução das tecnologias limpas, a redução progressiva de seus custos e o aumento da conscientização ambiental da sociedade, vêm contribuindo para acelerar a adoção dessas alternativas, reforçando a importância da transição energética como elemento estruturador das estratégias globais de desenvolvimento sustentável (SANTOS et al., 2025).

A transição energética também possui importância estratégica por promover uma profunda reorganização dos sistemas de produção e consumo de energia. Sua implementação não se restringe à diversificação da matriz energética, conforma aqui já ressaltado. Mas, pressupõe mudanças estruturais nos setores industrial, agrícola, de transportes e de serviços, exigindo políticas públicas integradas, desenvolvimento de tecnologias limpas e reformulação dos modelos de negócio. Nesse processo, a

eficiência energética e os princípios da economia circular assumem papel central, contribuindo para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e fortalecer uma economia de baixo carbono comprometida com a sustentabilidade ambiental (SANTOS; ALMEIDA, 2021).

Sob essa perspectiva, a adoção de estratégias sistêmicas voltadas à reconfiguração dos padrões de produção e consumo torna-se indispensável para garantir a segurança energética e ampliar a capacidade de adaptação das sociedades diante das mudanças climáticas.

Assim, a transição energética extrapola a simples substituição de fontes de geração, configurando-se como um processo de transformação estrutural cujos efeitos alcançam simultaneamente as dimensões econômica, ambiental e social, produzindo impactos duradouros sobre o desenvolvimento das nações (SANTOS; ALMEIDA, 2021).

A relevância desse processo também decorre da necessidade de promover maior equilíbrio entre o crescimento econômico e a preservação dos recursos naturais. A substituição progressiva das fontes fósseis por alternativas renováveis [como energia solar, eólica, biomassa e hidrelétrica] favorece a utilização mais eficiente dos recursos naturais e reduz significativamente os impactos ambientais decorrentes da exploração intensiva dos combustíveis convencionais. Dessa forma, a transição energética representa um importante instrumento para compatibilizar desenvolvimento econômico e conservação ambiental (HOLMGREN, 2013).

Entretanto, essa transformação também exige investimentos contínuos em inovação tecnológica e na

descentralização da geração de energia. O fortalecimento das tecnologias limpas amplia a eficiência dos sistemas energéticos, favorece a produção distribuída e reduz a vulnerabilidade dos países diante das oscilações do mercado internacional de combustíveis fósseis. Consequentemente, a transição energética fortalece a resiliência das matrizes energéticas e amplia as possibilidades de desenvolvimento sustentável em diferentes escalas territoriais (SANTOS et al., 2025).

Outro aspecto que evidencia a importância da transição energética refere-se à sua contribuição para minimizar os efeitos da crise climática global. Ao reduzir a dependência de fontes altamente poluentes, esse processo favorece não apenas a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, mas também a conservação dos ecossistemas e da biodiversidade. Nesse sentido, a transição energética constitui uma das principais estratégias para compatibilizar as necessidades do desenvolvimento humano com a preservação dos sistemas naturais que sustentam a vida no planeta (BURSZTYN; BURSZTYN, 2013).

Além dos benefícios ambientais, a transição energética apresenta significativa relevância socioeconômica. A expansão das energias renováveis impulsiona investimentos em tecnologias sustentáveis, fortalece cadeias produtivas, estimula a inovação e amplia a geração de empregos qualificados, consolidando um modelo de desenvolvimento mais inclusivo e ambientalmente responsável. Diante disto, a transição energética transforma-se em importante vetor de competitividade econômica, ao mesmo tempo em que

promove melhores condições de vida para a população (SANTOS et al., 2025).

A literatura também evidencia que o sucesso desse processo depende da capacidade científico-tecnológica de cada país e de seu compromisso com a segurança energética. Nações que investem em pesquisa, inovação e desenvolvimento tecnológico encontram melhores condições para ampliar a participação das fontes renováveis em suas matrizes energéticas e reduzir a vulnerabilidade decorrente da dependência dos combustíveis fósseis. Assim, a transição energética representa simultaneamente uma necessidade ambiental e uma oportunidade estratégica de fortalecimento econômico e tecnológico (VEIGA, 2019).

Outro elemento fundamental consiste na necessidade de assegurar que os benefícios da transição energética sejam compartilhados por toda a sociedade. A adoção de equipamentos mais eficientes, veículos de baixa emissão e sistemas de geração fotovoltaica ainda permanece inacessível para parcela significativa da população. Por essa razão, políticas públicas voltadas à justiça social tornam-se indispensáveis para garantir igualdade de oportunidades, ampliar o acesso às novas tecnologias e assegurar que a transição energética ocorra de maneira inclusiva e equitativa (MATICOLLI, 2025).

A importância da transição energética também se manifesta na crescente necessidade de articulação institucional entre governos, empresas, organismos internacionais e sociedade civil. A formulação e implementação de políticas públicas voltadas às energias renováveis exigem ambientes

institucionais capazes de estimular investimentos, coordenar ações e fortalecer mecanismos de governança. Nesse cenário, tanto economias maduras quanto países emergentes necessitam desenvolver instrumentos capazes de ampliar os investimentos em energias renováveis e acelerar a transformação dos sistemas energéticos nacionais (SIEBRA; ABREU, 2022).

Por fim, a importância da transição energética ultrapassa os limites das políticas ambientais e energéticas, configurando-se como um dos pilares do desenvolvimento sustentável no século XXI. Sua efetividade depende da integração entre inovação tecnológica, crescimento econômico, preservação ambiental, inclusão social e cooperação institucional, tornando-a um instrumento estratégico para enfrentar simultaneamente os desafios da segurança energética, das mudanças climáticas e da construção de economias mais resilientes, competitivas e socialmente justas (MME, 2023; IRENA, 2019).

Transição energética: algumas particularidades

A transição energética apresenta características que a distinguem de processos históricos anteriores de substituição das matrizes energéticas. Embora seu objetivo imediato seja ampliar a participação das fontes renováveis e reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, trata-se de um fenômeno complexo, multidimensional e profundamente condicionado por fatores econômicos, políticos, tecnológicos, ambientais e socioculturais.

Sua implementação envolve mudanças estruturais que transcendem a simples adoção de novas tecnologias, exigindo transformações nos modelos de desenvolvimento, nas formas de governança e nas relações estabelecidas entre sociedade, economia e natureza (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024).

Uma das principais particularidades da atual transição energética consiste em seu caráter profundamente territorial e geopolítico. Diferentemente das transições anteriores, impulsionadas predominantemente pela busca de maior produtividade econômica, a transformação em curso ocorre em um contexto de intensificação das mudanças

climáticas, de disputas geopolíticas pela liderança tecnológica e de crescente preocupação com a segurança energética. Assim, cada país desenvolve estratégias próprias de transição, condicionadas por suas características institucionais, disponibilidade de recursos naturais, capacidade tecnológica e interesses econômicos (GASPAR FILHO; SANTOS, 2022).

Outra característica relevante refere-se ao fato de que a transição energética não ocorre de maneira homogênea entre as diferentes nações. A velocidade desse processo depende diretamente da capacidade de investimento, da estabilidade institucional, das políticas públicas implementadas e da estrutura econômica de cada país.

Além disso, a substituição de uma infraestrutura energética consolidada durante séculos demanda elevados investimentos financeiros, desenvolvimento tecnológico contínuo e profundas alterações na cadeia produtiva, tornando inevitáveis diferenças temporais e regionais na condução desse processo (SMIL, 2015).

Também merece destaque a distinção entre transição energética e diversificação energética, conceitos frequentemente utilizados como sinônimos, embora possuam significados distintos.

A diversificação consiste, essencialmente, na ampliação do número de fontes disponíveis para o suprimento energético, enquanto a transição energética envolve mudanças estruturais, de longo prazo, capazes de modificar os sistemas tecnológicos, econômicos e sociais relacionados à produção, distribuição e consumo de energia. Essa diferenciação possui importantes implicações para a formulação de políticas

públicas, uma vez que evidencia que a simples diversificação das fontes não garante, necessariamente, uma efetiva transformação do modelo energético vigente (MONTEIRO NETO, 2024).

Outra particularidade reside na dimensão temporal da transição energética. Os estudos especializados demonstram que essas transformações se desenvolvem ao longo de décadas, consolidando-se gradualmente mediante processos contínuos de inovação tecnológica, adaptação institucional e mudanças culturais. Essa característica exige planejamento de longo prazo e políticas públicas permanentes, capazes de manter a continuidade das ações independentemente das alternâncias governamentais e das oscilações econômicas (MONTEIRO NETO, 2024).

Sob o enfoque sociotécnico, a transição energética também apresenta a particularidade de depender simultaneamente do desenvolvimento de novas tecnologias e de sua efetiva incorporação pela sociedade. A inovação tecnológica, embora indispensável, não é suficiente para assegurar a transformação da matriz energética. Sua consolidação requer aceitação social, investimentos em infraestrutura, formação de capital humano, adaptação dos mercados e construção de novos arranjos institucionais que favoreçam a difusão das tecnologias limpas (MONTEIRO NETO, 2024).

Outro aspecto relevante refere-se ao aumento da demanda por minerais considerados estratégicos para a fabricação de equipamentos destinados à geração de energia renovável. A expansão da energia solar, eólica, dos veículos

elétricos e dos sistemas de armazenamento intensifica a necessidade de matérias-primas como lítio, níquel, cobre, cobalto, ferro, aço-liga e elementos de terras raras. Em consequência, a transição energética não elimina integralmente os desafios relacionados à exploração dos recursos naturais, mas redefine sua natureza, criando novas demandas econômicas, ambientais e geopolíticas (CASTRO et al., 2024).

Nesse contexto, a substituição das tecnologias intensivas em carbono por alternativas de baixo carbono não ocorre sem obstáculos. Os arranjos institucionais construídos em torno da exploração dos combustíveis fósseis tendem a oferecer significativa resistência às mudanças, dificultando a implementação de novos modelos energéticos. Assim, a transição energética exige mecanismos de governança capazes de administrar conflitos, reduzir assimetrias e promover a coordenação entre os diferentes atores envolvidos no processo (CASTRO et al., 2024).

A Agência Internacional de Energia Renovável destaca que a consolidação da transição energética depende da convergência de diversos fatores estruturantes. Entre eles destacam-se a redução dos custos de produção das tecnologias renováveis, o enfrentamento da poluição e das mudanças climáticas, o estabelecimento de metas nacionais para ampliação das energias renováveis, o incentivo permanente à inovação tecnológica, a participação ativa do setor privado e o fortalecimento das iniciativas desenvolvidas pela sociedade civil organizada. Esses elementos demonstram que a transição energética constitui um processo coletivo, envolvendo

diferentes níveis de governança e múltiplos segmentos sociais (IRENA, 2019).

Outra particularidade importante consiste no fato de que a transição energética frequentemente é apresentada como solução capaz de resolver simultaneamente problemas ambientais, econômicos e sociais. Entretanto, parte da literatura adverte que esse entendimento deve ser analisado com cautela.

Embora as energias renováveis ofereçam oportunidades significativas para geração de empregos, inovação tecnológica e redução das emissões de carbono, diversos fatores históricos, econômicos e sociais condicionam sua efetividade. As experiências anteriores demonstram que as transições energéticas costumam ocorrer lentamente e são fortemente influenciadas pelas necessidades produtivas, pelos ciclos econômicos e pelas oscilações dos preços internacionais da energia (FRIGO; CANEPPELE; GODINHO, 2023; GONZÁLEZ, 2018).

Sob essa perspectiva, torna-se evidente que uma transição energética efetivamente sustentável não pode permanecer subordinada aos ciclos econômicos, às oscilações do mercado internacional de petróleo ou às mudanças conjunturais nas prioridades políticas. Sua consolidação requer planejamento de longo prazo, estabilidade institucional, continuidade das políticas públicas e investimentos permanentes em pesquisa, inovação e infraestrutura. Assim como ocorreu nas grandes transformações energéticas do passado, a transição atualmente em curso depende da base histórica construída pelas matrizes anteriores e desenvolve-se

de forma gradual, cumulativa e sistêmica (FRIGO; CANEPPELE; GODINHO, 2023).

Por fim, uma das maiores particularidades da transição energética contemporânea reside em seu caráter essencialmente cooperativo. A construção de um sistema energético global sustentável exige elevado grau de coordenação internacional, harmonização de normas técnicas e estabelecimento de mecanismos confiáveis de certificação capazes de reconhecer diferentes rotas de descarbonização.

A cooperação entre países, organismos internacionais, instituições científicas e setor produtivo torna-se condição indispensável para ampliar a confiança entre os diversos atores e assegurar que os benefícios ambientais, econômicos e sociais da transição energética possam ser compartilhados em escala global (SANTOS et al., 2024).

A transição energética também apresenta como característica marcante a necessidade de superar importantes desafios técnicos relacionados à integração das fontes renováveis aos sistemas elétricos existentes. A geração de energia por fontes como a solar e a eólica depende diretamente das condições ambientais, tornando sua produção naturalmente variável.

Essa intermitência exige investimentos em sistemas de armazenamento, modernização das redes de transmissão e distribuição, desenvolvimento de tecnologias de gerenciamento inteligente e aperfeiçoamento dos mecanismos de estabilidade do

sistema elétrico. Além disso, a aceitação social das novas tecnologias e a resistência de segmentos econômicos vinculados aos combustíveis fósseis constituem fatores que influenciam diretamente o ritmo dessa transformação (SANTOS et al., 2024).

Outra particularidade relevante consiste no fato de que a transição energética não se restringe à substituição de uma fonte energética por outra, mas promove alterações profundas na dinâmica do fornecimento mundial de energia.

À medida que as matrizes renováveis ampliam sua participação, especialmente em países em desenvolvimento, cresce também a possibilidade de redução da dependência da importação de combustíveis fósseis, fortalecendo a segurança energética nacional. Dessa forma, a diversificação das fontes renováveis passa a representar não apenas um benefício ambiental, mas também um importante instrumento de fortalecimento da soberania energética dos Estados (GASPAR FILHO; SANTOS, 2022).

É igualmente importante destacar que a transição energética constitui um processo social, e não exclusivamente tecnológico. Sua efetivação depende da atuação coordenada de governos, empresas, instituições financeiras, universidades, organismos internacionais e da própria sociedade civil.

Esses diferentes atores podem tanto impulsionar quanto dificultar as mudanças necessárias, influenciados por interesses econômicos, valores culturais, prioridades políticas e preocupações socioambientais. Assim, o êxito da transição energética está diretamente relacionado à capacidade de articulação entre esses diversos segmentos da sociedade (GASPAR FILHO; SANTOS, 2022).

Outra especificidade da transição energética contemporânea reside em sua estreita vinculação com a inovação científica e tecnológica. A expansão das energias renováveis exige investimentos contínuos em pesquisa, desenvolvimento e inovação, tanto para aumentar a eficiência dos sistemas de geração quanto para reduzir seus custos de implantação e operação.

Nesse cenário, universidades, centros de pesquisa e empresas inovadoras assumem papel estratégico na produção de conhecimentos capazes de acelerar a consolidação de tecnologias limpas e ampliar sua competitividade frente às fontes convencionais de energia (IRENA, 2019).

Além disso, observa-se que a transição energética impõe a necessidade de revisão permanente das políticas públicas. Os instrumentos regulatórios devem acompanhar a rápida evolução tecnológica e as transformações do mercado energético, criando ambientes favoráveis à inovação, ao investimento

privado e à expansão das fontes renováveis. Ao mesmo tempo, essas políticas precisam assegurar estabilidade jurídica, previsibilidade regulatória e mecanismos capazes de reduzir desigualdades regionais e sociais, garantindo que os benefícios da transição sejam compartilhados de maneira ampla e equilibrada (SIEBRA; ABREU, 2022).

No âmbito internacional, outra característica relevante consiste na necessidade de harmonização dos esforços desenvolvidos pelos diferentes países. As metas globais de redução das emissões de gases de efeito estufa somente poderão ser alcançadas mediante cooperação internacional, compartilhamento de tecnologias, mecanismos comuns de certificação e estabelecimento de padrões que assegurem transparência aos diferentes processos de descarbonização. Essa articulação fortalece a confiança entre os diversos atores envolvidos e amplia as possibilidades de implementação de políticas climáticas eficazes em escala mundial (SANTOS et al., 2024).

Por outro lado, a literatura especializada demonstra que não existe um modelo único de transição energética aplicável a todos os países. Cada processo nacional é condicionado por fatores históricos, econômicos, tecnológicos, ambientais e institucionais próprios, razão pela qual as estratégias adotadas variam conforme a disponibilidade de recursos naturais, a

estrutura produtiva, a capacidade científico-tecnológica e as prioridades de desenvolvimento de cada sociedade. Essa diversidade evidencia que a transição energética deve ser concebida como um processo flexível, adaptável às especificidades territoriais e orientado pelos princípios da sustentabilidade e da justiça social (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024; GASPAR FILHO; SANTOS, 2022).

Em síntese, a transição energética caracteriza-se por sua natureza histórica, gradual, multidimensional e sistêmica. Trata-se de um processo que integra inovação tecnológica, reestruturação econômica, transformação institucional, proteção ambiental e inclusão social, exigindo planejamento de longo prazo, cooperação internacional e participação ativa dos diferentes atores sociais.

Mais do que substituir combustíveis fósseis por fontes renováveis, a transição energética propõe uma profunda reorganização da forma como a humanidade produz, distribui, consome e compreende a energia, constituindo um dos pilares fundamentais para a construção de um modelo de desenvolvimento verdadeiramente sustentável (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

Elementos essenciais da transição energética

A transição energética contemporânea constitui um processo que ultrapassa a simples substituição de fontes fósseis por fontes renováveis, configurando-se como uma transformação estrutural capaz de promover simultaneamente a mitigação das emissões de carbono, o fortalecimento da competitividade econômica e a promoção do desenvolvimento socioeconômico e ambiental.

Sob essa perspectiva, a descarbonização da economia deve ser compreendida como um conjunto articulado de estratégias voltadas à construção de um sistema energético mais eficiente, resiliente e sustentável. As diferentes trajetórias possíveis para essa transformação precisam estar organizadas em torno de eixos estruturantes já consolidados em diversos documentos oficiais, os quais orientam a formulação de políticas públicas, investimentos e mecanismos regulatórios destinados à consolidação de uma economia de baixo carbono (JANNUZZI, 2024).

É importante ressaltar que o desenvolvimento tecnológico representa um dos pilares fundamentais da transição energética. Entretanto, no contexto brasileiro, o principal desafio dos próximos anos não reside propriamente

na criação de novas tecnologias de baixo carbono, mas na ampliação da utilização das soluções já existentes.

O Brasil dispõe de reconhecida competência científica, tecnológica e industrial em diversos segmentos estratégicos, destacando-se, entre eles, a bioenergia, área na qual o país acumulou experiência suficiente para exportar conhecimento, tecnologias e modelos de produção para diferentes mercados internacionais. Assim, mais do que investir exclusivamente em inovação tecnológica, torna-se indispensável promover políticas capazes de acelerar a difusão das tecnologias disponíveis e ampliar sua incorporação pelos diferentes setores produtivos (JANNUZZI, 2024).

Essa disseminação depende diretamente da existência de políticas climáticas consistentes, instrumentos econômicos adequados e marcos regulatórios capazes de estimular investimentos de longo prazo.

Diversos estudos, incluindo as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) apresentadas pelo Brasil, demonstram que a consolidação da transição energética exige mecanismos que reduzam barreiras de mercado, ampliem a segurança jurídica e incentivem a adoção de tecnologias limpas em larga escala. Dessa forma, a combinação entre inovação, regulamentação eficiente e instrumentos econômicos torna-se condição indispensável para acelerar a descarbonização da economia brasileira e fortalecer sua competitividade no cenário internacional (SANTOS et al., 2025).

Entre as tecnologias com elevado potencial de expansão destaca-se a energia eólica offshore, cuja implantação

poderá beneficiar-se da infraestrutura já existente e da experiência acumulada pelo setor brasileiro de petróleo e gás. O conhecimento técnico desenvolvido ao longo de décadas na exploração marítima constitui importante vantagem competitiva para o aproveitamento do potencial eólico existente na costa brasileira.

Além de ampliar a oferta de eletricidade renovável, essa modalidade poderá fornecer energia destinada à produção de hidrogênio verde ou ser integrada ao Sistema Interligado Nacional, desde que acompanhada pelos investimentos necessários na expansão das redes de transmissão e distribuição de energia elétrica (EPE, 2020).

Paralelamente à expansão das fontes renováveis, a crescente participação de tecnologias intermitentes, como a geração solar e eólica, impõe novos desafios à operação do sistema elétrico brasileiro.

A variabilidade inerente a essas fontes exige a implantação de sistemas modernos de armazenamento de eletricidade, mecanismos inteligentes de gerenciamento da oferta e da demanda e soluções capazes de conferir maior flexibilidade operacional à infraestrutura energética nacional.

Nesse contexto, a integração entre diferentes fontes de geração e instrumentos de resposta da demanda passa a desempenhar papel estratégico para garantir a estabilidade, a confiabilidade e a segurança do abastecimento energético em um cenário caracterizado por elevada participação das energias renováveis (SANTOS et al., 2025).

Embora esses desafios sejam significativos, é importante destacar que inúmeras tecnologias limpas e

eficientes já se encontram disponíveis comercialmente, inclusive no mercado brasileiro. Em razão disso, a prioridade consiste em aperfeiçoar as condições necessárias para sua ampla utilização.

Esse processo envolve o aprimoramento dos mecanismos regulatórios, incluindo os modelos tarifários, a expansão das redes inteligentes de eletricidade, a integração entre os sistemas energéticos, de telecomunicações e de transportes e o fortalecimento da gestão da demanda energética. Além disso, torna-se imprescindível assegurar que essas infraestruturas apresentem elevados níveis de confiabilidade, estabilidade operacional e capacidade de resposta diante de eventos climáticos extremos, fatores que assumem importância crescente em um contexto de intensificação das mudanças climáticas (JANNUZZI, 2024).

A urgência da transição energética diante da crise climática

A intensificação das mudanças climáticas transformou a transição energética em uma das principais prioridades da agenda internacional contemporânea. O aumento contínuo das emissões de gases de efeito estufa, associado à crescente demanda mundial por energia, evidencia a necessidade de promover profundas mudanças na forma como a sociedade produz, distribui e consome energia.

Nesse contexto, a substituição gradual dos combustíveis fósseis por fontes renováveis deixou de representar apenas uma alternativa tecnológica para constituir uma condição indispensável à preservação do equilíbrio climático, ao fortalecimento da segurança energética e à construção de um modelo de desenvolvimento ambientalmente sustentável (SANTOS et al., 2025).

Além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, as fontes renováveis de energia apresentam vantagens significativas quando comparadas aos combustíveis fósseis. As tecnologias baseadas na energia solar, eólica e na biomassa produzem impactos ambientais consideravelmente

menores, utilizam recursos naturalmente renováveis e oferecem maior disponibilidade em longo prazo. Essas características reforçam seu potencial para substituir progressivamente as fontes convencionais de energia, reduzindo simultaneamente a emissão de poluentes atmosféricos e a pressão sobre os recursos naturais não renováveis (SANTOS et al., 2025).

Entretanto, a consolidação desse novo paradigma energético depende da superação de diversos obstáculos estruturais. No caso brasileiro, a escassez de mão de obra especializada constitui uma das principais limitações ao crescimento das energias renováveis, evidenciando a necessidade de ampliar investimentos em educação, qualificação profissional, pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico.

Paralelamente, torna-se imprescindível a implementação de políticas públicas capazes de estabelecer marcos regulatórios consistentes, criar mecanismos de incentivo financeiro e oferecer segurança jurídica aos investimentos necessários para a expansão da matriz energética renovável (SANTOS et al., 2025).

Nesse cenário, a transição energética deve ser compreendida como um compromisso compartilhado entre governos, iniciativa privada, instituições científicas e sociedade civil. A construção de uma matriz energética sustentável exige ações coordenadas entre esses diferentes atores, capazes de promover inovação tecnológica, fortalecer a governança ambiental e estimular investimentos em infraestrutura energética.

Somente mediante um esforço coletivo será possível consolidar sistemas energéticos resilientes, capazes de atender às necessidades atuais sem comprometer a disponibilidade de recursos para as futuras gerações (SANTOS; ALMEIDA, 2021; SANTOS et al., 2025).

A transformação atualmente em curso ultrapassa os limites de uma simples inovação tecnológica. Na realidade, representa uma profunda redefinição dos modelos de desenvolvimento econômico e social construídos ao longo da era industrial.

A transição energética envolve mudanças estruturais na organização dos sistemas produtivos, nos padrões de consumo, nas políticas públicas e na própria relação estabelecida entre sociedade e natureza. Por essa razão, sua efetivação constitui um dos maiores desafios contemporâneos para a promoção do desenvolvimento sustentável (SANTOS et al., 2025).

A necessidade dessa transformação torna-se ainda mais evidente diante da crescente demanda mundial por energia e da elevada dependência dos combustíveis fósseis. Além de comprometer a estabilidade ambiental, essa dependência amplia a vulnerabilidade econômica dos países diante das oscilações dos mercados internacionais de petróleo, carvão e gás natural. Ao mesmo tempo, limita o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e reduz a capacidade de inovação do setor energético. Dessa forma, a diversificação da matriz energética passa a representar um requisito essencial para garantir segurança energética,

estabilidade econômica e sustentabilidade ambiental (SANTOS; ALMEIDA, 2021).

Todavia, a substituição dos combustíveis fósseis por fontes exclusivamente renováveis representa um processo extremamente complexo. A atual infraestrutura energética mundial foi construída ao longo de mais de dois séculos de desenvolvimento industrial, tornando os combustíveis fósseis indispensáveis não apenas para a geração de energia, mas também para diversos segmentos produtivos.

Além do fornecimento de eletricidade e combustíveis, petróleo, carvão e gás natural permanecem essenciais para a fabricação de fertilizantes, agroquímicos, plásticos, aço e inúmeros insumos indispensáveis ao funcionamento das economias contemporâneas. Essa realidade demonstra que a transição energética exige mudanças muito mais profundas do que a simples substituição das fontes de geração elétrica (SMIL, 2024).

Sob essa perspectiva, a construção de um modelo energético sustentável constitui simultaneamente uma necessidade ambiental, uma oportunidade econômica e uma estratégia de fortalecimento da segurança energética. Países capazes de ampliar a participação das energias renováveis reduzem sua vulnerabilidade diante das crises internacionais de abastecimento e fortalecem sua competitividade econômica em um cenário global marcado pela crescente valorização das tecnologias de baixo carbono. Em especial para as economias de renda média, os investimentos em infraestrutura, inovação tecnológica e pesquisa científica representam fatores decisivos

para acelerar a consolidação de sistemas energéticos mais sustentáveis e resilientes (VEIGA, 2019).

A integração progressiva das fontes renováveis também inaugura um novo paradigma para o desenvolvimento econômico mundial. A expansão da energia solar, eólica e de outras tecnologias limpas fortalece economias locais, reduz impactos ambientais e amplia a segurança energética das nações.

Entretanto, a efetividade dessa transformação depende da articulação permanente entre políticas públicas, investimentos privados, inovação tecnológica e participação social. Somente a conjugação desses elementos permitirá consolidar uma matriz energética capaz de responder aos desafios impostos pela crise climática e garantir condições adequadas de desenvolvimento para as futuras gerações (MOREIRA, 2020).

Os desafios da substituição dos combustíveis fósseis

A transição energética representa um dos maiores desafios estruturais enfrentados pela humanidade no século XXI. Embora exista consenso científico acerca da necessidade de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, a concretização desse objetivo encontra obstáculos técnicos, econômicos, políticos e institucionais que tornam esse processo necessariamente gradual.

A atual matriz energética mundial foi construída ao longo de mais de dois séculos de desenvolvimento industrial e permanece fortemente sustentada pelo petróleo, carvão mineral e gás natural, fontes responsáveis por atender parcela significativa da demanda energética global. Essa realidade evidencia que a substituição dessas fontes exige mudanças profundas na infraestrutura produtiva, nos sistemas de transporte, nos processos industriais e nos padrões de consumo da sociedade contemporânea (SMIL, 2024).

Essa dependência histórica decorre não apenas da elevada capacidade de geração energética dos combustíveis fósseis, mas também de sua ampla inserção nas cadeias produtivas mundiais. Além de abastecer veículos e usinas termelétricas, petróleo, carvão e gás natural permanecem

indispensáveis para a fabricação de fertilizantes, defensivos agrícolas, plásticos, produtos químicos, aço, cimento e diversos materiais essenciais ao funcionamento das economias modernas.

Assim, a transição energética envolve uma transformação estrutural que ultrapassa o setor elétrico, alcançando praticamente todos os segmentos produtivos e exigindo o desenvolvimento de alternativas tecnológicas capazes de substituir insumos tradicionalmente derivados dessas fontes convencionais (SMIL, 2024).

O conceito de transição energética, nesse contexto, refere-se à substituição progressiva da matriz atualmente baseada predominantemente em combustíveis fósseis — acrescida, em países como o Brasil, da significativa participação das grandes hidrelétricas e, em menor escala, da energia nuclear — por fontes alternativas de energia.

A noção de energia alternativa consolidou-se após a crise energética da década de 1970 e passou a designar, principalmente, as fontes renováveis, entre as quais se destacam a energia solar, a energia eólica, os biocombustíveis e outras modalidades de geração de baixo impacto ambiental. Esse conceito passou a ocupar posição central nas estratégias voltadas à construção de sistemas energéticos mais sustentáveis e menos dependentes dos combustíveis fósseis (GONZÁLEZ, 2018).

A necessidade dessa substituição tornou-se ainda mais evidente em razão da intensificação do aquecimento global. O uso continuado dos combustíveis fósseis permanece como a principal fonte de emissão de gases de efeito estufa,

especialmente dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), cuja concentração crescente na atmosfera tem provocado alterações significativas no clima terrestre.

Entre as consequências já observadas destacam-se o aumento da frequência de secas prolongadas, enchentes, ondas de calor, incêndios florestais, perda de biodiversidade e alterações no regime de chuvas, fenômenos que afetam diretamente a segurança alimentar, os recursos hídricos e a estabilidade das economias nacionais (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

As evidências científicas produzidas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) reforçam a urgência dessa transformação ao indicar que o aumento da temperatura média global deve permanecer inferior a 2° C em relação aos níveis pré-industriais para evitar consequências potencialmente irreversíveis. Em resposta a esse desafio, a comunidade internacional passou a fortalecer mecanismos multilaterais de cooperação, especialmente por meio das Conferências das Partes (COPs), que se consolidaram como os principais fóruns internacionais de negociação sobre mudanças climáticas e transição energética (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

Entre esses marcos internacionais, destaca-se o Acordo de Paris, firmado durante a COP21, em 2015, quando 195 países assumiram o compromisso de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa por meio das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs).

Posteriormente, a COP28, realizada em 2023, reforçou a necessidade de ampliar os mecanismos internacionais de

financiamento destinados tanto à transição energética quanto às medidas de adaptação às mudanças climáticas. Nesse cenário, a realização da COP30 no Brasil representa oportunidade estratégica para ampliar o protagonismo do país nas discussões globais sobre desenvolvimento sustentável, conservação da Amazônia e financiamento da transição ecológica (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

Apesar da urgência climática, a transição energética também precisa ser economicamente viável. A substituição das tecnologias convencionais somente poderá ocorrer em larga escala se as alternativas renováveis apresentarem níveis adequados de competitividade econômica. Nesse aspecto, observa-se que os custos de geração das energias solar e eólica diminuíram significativamente nas últimas décadas, tornando essas tecnologias competitivas em diversos mercados internacionais.

Além disso, cresce o entendimento de que os investimentos destinados à expansão das energias renováveis representam uma forma de prevenir perdas econômicas muito maiores decorrentes dos impactos das mudanças climáticas sobre a infraestrutura, a agricultura, os recursos hídricos e a saúde pública (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

Sob essa perspectiva, a inação tende a produzir custos econômicos, ambientais e sociais significativamente superiores aos investimentos necessários para promover a transformação da matriz energética. Os prejuízos associados aos eventos climáticos extremos, à perda de produtividade agrícola, aos danos à infraestrutura e ao comprometimento da qualidade de vida reforçam que a transição energética deve ser

compreendida não apenas como uma política ambiental, mas também como uma estratégia de desenvolvimento econômico, redução de riscos e fortalecimento da resiliência das sociedades frente aos desafios impostos pela crise climática (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

Energias renováveis e a construção de uma economia de baixo carbono

A consolidação de uma matriz energética baseada em fontes renováveis constitui um dos principais pilares da transição energética contemporânea. O crescente reconhecimento dos impactos ambientais provocados pelos combustíveis fósseis tem impulsionado governos, organismos internacionais e instituições científicas a promoverem a expansão de tecnologias limpas capazes de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e fortalecer a segurança energética.

Nesse contexto, a energia solar, a energia eólica, os biocombustíveis e outras fontes renováveis assumem papel estratégico na construção de uma economia de baixo carbono, contribuindo simultaneamente para a preservação ambiental, o desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida da população (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

O conceito de transição energética está diretamente associado à substituição gradual da matriz energética predominantemente baseada em combustíveis fósseis por fontes alternativas de energia. Embora essa transformação tenha adquirido maior relevância após a crise energética da década de 1970, sua importância tornou-se ainda mais

evidente diante da necessidade de enfrentar as mudanças climáticas.

Atualmente, as energias renováveis representam uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente mais adequada para atender à crescente demanda mundial por energia, reduzindo a dependência dos recursos fósseis e contribuindo para a diversificação das matrizes energéticas nacionais (GONZÁLEZ, 2018).

Entre os principais benefícios das fontes renováveis destaca-se sua contribuição para a redução das emissões de carbono. A utilização da energia solar, da energia eólica e dos combustíveis renováveis permite diminuir significativamente a liberação de dióxido de carbono e de outros poluentes atmosféricos responsáveis pelo agravamento do efeito estufa.

Além disso, essas fontes apresentam menor impacto ambiental durante sua operação, favorecendo a conservação dos recursos naturais e contribuindo para o cumprimento dos compromissos internacionais assumidos pelos países no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

Outro aspecto relevante refere-se à crescente competitividade econômica das energias renováveis. Nas últimas décadas, os avanços tecnológicos, aliados ao aumento da escala de produção e à expansão dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, proporcionaram expressiva redução dos custos de geração da energia solar fotovoltaica e da energia eólica.

Em consequência, essas tecnologias passaram a competir em igualdade de condições com diversas fontes

convencionais de energia, tornando economicamente viável sua expansão em diferentes regiões do mundo. Esse cenário reforça a percepção de que investir em energias renováveis representa não apenas uma estratégia ambiental, mas também uma decisão economicamente racional para governos e investidores (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

A expansão das energias renováveis também contribui para fortalecer a segurança energética das nações. Países historicamente dependentes da importação de petróleo, carvão mineral e gás natural passam a dispor de maiores possibilidades de aproveitar recursos energéticos existentes em seus próprios territórios, reduzindo sua vulnerabilidade diante das oscilações dos mercados internacionais e das crises geopolíticas relacionadas ao abastecimento de combustíveis fósseis. A diversificação da matriz energética, nesse sentido, amplia a autonomia nacional e fortalece a estabilidade do suprimento energético em longo prazo (GASPAR FILHO; SANTOS, 2022).

Sob a perspectiva do desenvolvimento econômico, a transição para fontes renováveis também favorece a geração de empregos, o fortalecimento das cadeias produtivas e o estímulo à inovação tecnológica. A implantação de parques eólicos, usinas solares, unidades de produção de biocombustíveis e sistemas de geração distribuída demanda profissionais qualificados, impulsiona novos investimentos e amplia as oportunidades para empresas especializadas em equipamentos, serviços e soluções tecnológicas. Dessa forma, a economia de baixo carbono transforma-se em importante vetor

de desenvolvimento regional, geração de renda e dinamização dos mercados nacionais (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

Entretanto, a consolidação desse novo modelo energético exige planejamento de longo prazo e investimentos contínuos em infraestrutura. A expansão das energias renováveis depende da modernização das redes de transmissão e distribuição, do desenvolvimento de tecnologias de armazenamento de energia, da capacitação de profissionais especializados e da criação de ambientes regulatórios capazes de proporcionar segurança jurídica aos investidores.

Esses fatores demonstram que a construção de uma economia de baixo carbono exige muito mais do que a simples instalação de novas unidades geradoras, envolvendo profundas transformações institucionais, tecnológicas e econômicas (SANTOS et al., 2025).

A comunidade científica tem enfatizado que a aceleração da adoção de tecnologias limpas constitui uma das estratégias mais eficazes para reduzir as emissões globais de carbono e enfrentar a crise climática. Paralelamente, a expansão das fontes renováveis contribui para fortalecer a segurança energética mundial, diminuir a dependência dos combustíveis fósseis e estimular processos permanentes de inovação tecnológica.

Esses benefícios reforçam a compreensão de que a transição energética representa uma oportunidade para promover crescimento econômico aliado à responsabilidade ambiental, consolidando um modelo de desenvolvimento mais equilibrado e resiliente (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

A construção de uma economia de baixo carbono depende, portanto, da integração entre inovação tecnológica, políticas públicas, investimentos privados e participação social. A conjugação desses elementos possibilita ampliar a participação das energias renováveis nas matrizes energéticas nacionais, reduzir a pegada de carbono e fortalecer a competitividade econômica dos países em um cenário internacional cada vez mais orientado pelos princípios da sustentabilidade.

Assim, a expansão das fontes renováveis constitui não apenas uma resposta à crise climática, mas também um dos principais instrumentos para promover um desenvolvimento econômico socialmente inclusivo, ambientalmente responsável e compatível com os desafios do século XXI (GASPAR FILHO; SANTOS, 2022).

Políticas públicas, inovação e governança da transição energética

A efetividade da transição energética depende da articulação entre políticas públicas, inovação tecnológica e mecanismos de governança capazes de orientar a transformação dos sistemas energéticos nacionais. Embora os avanços tecnológicos tenham ampliado significativamente a competitividade das fontes renováveis, sua expansão em larga escala exige ambientes institucionais estáveis, planejamento de longo prazo e instrumentos regulatórios que promovam segurança jurídica e estimulem investimentos públicos e privados. Nesse contexto, a atuação coordenada dos diferentes níveis de governo, do setor produtivo, das instituições científicas e da sociedade civil torna-se condição indispensável para consolidar uma matriz energética sustentável (SANTOS et al., 2025).

Entre os principais instrumentos de governança destacam-se as políticas de incentivo à pesquisa científica, ao desenvolvimento tecnológico e à formação de profissionais qualificados. A expansão das energias renováveis demanda mão de obra especializada para atuar nas áreas de planejamento, instalação, operação e manutenção dos novos sistemas energéticos.

Nesse sentido, investimentos em educação, capacitação técnica e inovação constituem fatores estratégicos para assegurar a competitividade do setor e acompanhar o ritmo das transformações tecnológicas observadas no cenário internacional (SANTOS et al., 2025).

A inovação tecnológica representa um dos principais vetores da transição energética. O desenvolvimento contínuo de equipamentos mais eficientes, sistemas inteligentes de gerenciamento da energia, tecnologias de armazenamento e processos produtivos de menor impacto ambiental contribui para ampliar a participação das fontes renováveis nas matrizes energéticas nacionais.

Além de elevar a eficiência dos sistemas de geração, a inovação reduz custos operacionais, fortalece a competitividade das energias limpas e favorece o surgimento de novos modelos de negócios voltados à economia de baixo carbono (SANTOS et al., 2025).

A dimensão internacional da transição energética também evidencia a importância da cooperação entre os países. O agravamento das mudanças climáticas impulsionou a realização de sucessivas Conferências das Partes (COPs), que passaram a desempenhar papel estratégico na construção de consensos internacionais voltados à redução das emissões de gases de efeito estufa.

Entre esses marcos destaca-se o Acordo de Paris, firmado durante a COP21, por meio do qual os países assumiram compromissos relacionados à redução das emissões e à implementação de suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs). Posteriormente, a

COP28 reforçou a necessidade de ampliar os mecanismos internacionais de financiamento destinados à transição energética e às ações de adaptação climática, enquanto a realização da COP30 no Brasil evidencia o crescente protagonismo do país nesse debate global (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

Esses compromissos internacionais demonstram que a transição energética ultrapassa os limites das políticas nacionais, exigindo mecanismos permanentes de cooperação multilateral. A definição de metas comuns, o compartilhamento de tecnologias, a mobilização de recursos financeiros e o fortalecimento das instituições internacionais constituem elementos fundamentais para acelerar a substituição das matrizes energéticas baseadas em combustíveis fósseis. Ao mesmo tempo, tais iniciativas favorecem maior integração entre os países e ampliam as possibilidades de construção de soluções adaptadas às diferentes realidades econômicas, sociais e ambientais (SANTOS et al., 2024).

Entretanto, a implementação dessas políticas deve considerar as especificidades territoriais de cada país e, muitas vezes, das diferentes regiões que os compõem. A disponibilidade de recursos naturais, a infraestrutura instalada, a capacidade tecnológica e as condições socioeconômicas variam significativamente entre os territórios, tornando inadequada a adoção de estratégias uniformes.

Dessa forma, a formulação de políticas públicas voltadas à transição energética deve contemplar diagnósticos regionais, identificar recursos ainda subutilizados e estimular

o intercâmbio de experiências entre localidades que já alcançaram maior nível de desenvolvimento no aproveitamento das energias renováveis (SANTOS et al., 2024).

Outro aspecto relevante refere-se à necessidade de compatibilizar os objetivos ambientais com as limitações econômicas inerentes ao processo de transição. A expansão das energias renováveis demanda elevados investimentos em infraestrutura, pesquisa científica e inovação tecnológica, ao mesmo tempo em que enfrenta resistências de setores econômicos historicamente vinculados aos combustíveis fósseis.

Além disso, novas barreiras comerciais relacionadas às emissões de carbono, como o Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (CBAM), impõem desafios adicionais aos países exportadores, exigindo revisão de estratégias comerciais e fortalecimento da competitividade internacional em uma economia cada vez mais orientada pelos princípios da sustentabilidade (SANTOS et al., 2024).

Sob essa perspectiva, a governança da transição energética deve buscar o equilíbrio entre crescimento econômico, competitividade internacional e proteção ambiental. A implementação de políticas públicas consistentes, associada ao fortalecimento da inovação tecnológica e à ampliação da cooperação internacional, constitui um dos principais instrumentos para assegurar que a transformação dos sistemas energéticos ocorra de forma planejada, eficiente e socialmente justa.

Assim, mais do que incentivar a expansão das energias renováveis, a governança energética deve criar

condições institucionais capazes de garantir a continuidade desse processo ao longo das próximas décadas, promovendo desenvolvimento sustentável e segurança energética para as atuais e futuras gerações (SANTOS et al., 2024; SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

Perspectivas para uma transição energética sustentável

A construção de uma transição energética efetivamente sustentável depende da conjugação de esforços em escala local, nacional e internacional. Embora os avanços tecnológicos observados nas últimas décadas tenham ampliado significativamente a participação das fontes renováveis nas matrizes energéticas de diversos países, os desafios decorrentes das mudanças climáticas exigem medidas ainda mais abrangentes e coordenadas.

A consolidação desse processo pressupõe não apenas a substituição progressiva dos combustíveis fósseis, mas também a reformulação dos modelos de desenvolvimento, dos padrões de consumo e das estratégias de governança que orientam o setor energético mundial (MONTEIRO NETO, 2024).

As evidências científicas demonstram que a elevação contínua da temperatura média do planeta já produz impactos expressivos sobre os ecossistemas e as sociedades humanas. Eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, enchentes, queimadas, perda de safras agrícolas, elevação do nível do mar e degradação dos recursos naturais, tornaram-se cada vez mais frequentes em diferentes regiões do mundo.

Além desses fenômenos mais visíveis, alterações menos perceptíveis, como o aquecimento dos oceanos, o recuo das geleiras e a redução da cobertura de neve, evidenciam a crescente instabilidade do sistema climático global e reforçam a necessidade de acelerar o processo de descarbonização das economias (MONTEIRO NETO, 2024).

Esse cenário demonstra que os impactos das mudanças climáticas tendem a atingir praticamente todas as regiões do planeta, ainda que com diferentes níveis de intensidade. A vulnerabilidade dos sistemas produtivos, da infraestrutura urbana, da segurança alimentar e da disponibilidade hídrica evidencia que a adoção de medidas concretas não pode mais ser adiada.

Por essa razão, os fóruns internacionais sobre meio ambiente e clima têm intensificado os esforços para construir consensos políticos capazes de acelerar a implementação de estratégias voltadas à mitigação das emissões de gases de efeito estufa e à adaptação das sociedades aos novos desafios climáticos (MONTEIRO NETO, 2024).

Paralelamente às preocupações ambientais, observa-se que o incentivo à transição energética também decorre da necessidade de fortalecer a segurança energética dos países. A elevada dependência da importação de combustíveis fósseis expõe diversas economias às oscilações dos mercados internacionais, às crises geopolíticas e às variações dos preços da energia.

Nesse contexto, a expansão das fontes renováveis representa uma oportunidade para diversificar as matrizes energéticas nacionais, ampliar a autonomia dos Estados e

reduzir sua vulnerabilidade diante de fatores externos que afetam o abastecimento energético (GASPAR FILHO; SANTOS, 2022).

A consolidação dessa transformação, entretanto, exige uma estratégia de atuação multilateral capaz de considerar as especificidades econômicas, ambientais e territoriais de cada país. A cooperação internacional torna-se indispensável para promover o intercâmbio de conhecimentos, compartilhar tecnologias, identificar recursos energéticos ainda subutilizados e estimular soluções adaptadas às diferentes realidades nacionais e regionais. Esse processo pressupõe a atuação conjunta de governos, organismos internacionais, instituições científicas, setor produtivo e sociedade civil, fortalecendo uma governança global orientada pelos princípios da sustentabilidade (SANTOS et al., 2024).

Ao mesmo tempo, a transição energética precisa conciliar seus objetivos ambientais com as limitações econômicas que caracterizam esse processo. A implantação de novas infraestruturas energéticas demanda elevados investimentos financeiros, enquanto segmentos tradicionalmente vinculados aos combustíveis fósseis tendem a oferecer resistência às mudanças estruturais decorrentes da descarbonização da economia.

Além disso, a adoção de novos instrumentos regulatórios internacionais, como mecanismos de ajuste de carbono nas fronteiras, impõe desafios adicionais à competitividade dos países, exigindo revisão das estratégias comerciais e fortalecimento da capacidade de adaptação das

economias nacionais às exigências dos mercados internacionais (SANTOS et al., 2024).

Essas circunstâncias evidenciam que a transição energética não constitui um processo linear nem uniforme. Sua implementação dependerá da capacidade dos países de integrar políticas públicas, inovação tecnológica, investimentos privados, cooperação internacional e participação social em um projeto comum de desenvolvimento sustentável. A efetividade dessa transformação exige planejamento de longo prazo, estabilidade institucional e mecanismos permanentes de financiamento capazes de assegurar continuidade às ações voltadas à modernização das matrizes energéticas e à redução das emissões de gases de efeito estufa (SANTOS et al., 2024).

Por fim, as perspectivas para a transição energética indicam que sua consolidação representa uma das principais condições para enfrentar simultaneamente a crise climática, fortalecer a segurança energética e promover o desenvolvimento sustentável. A adoção de fontes renováveis, associada à inovação tecnológica, ao aperfeiçoamento das políticas públicas e ao fortalecimento da cooperação internacional, poderá contribuir para a construção de sistemas energéticos mais resilientes, eficientes e socialmente inclusivos.

Assim, mais do que uma resposta à emergência climática, a transição energética configura-se como um projeto estratégico de transformação econômica e social, voltado à construção de um futuro compatível com os princípios da sustentabilidade e da responsabilidade intergeracional (MONTEIRO NETO, 2024; GASPAR FILHO; SANTOS, 2022; SANTOS et al., 2024).

Transição energética e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

A transição energética consolidou-se como um dos principais eixos das estratégias globais voltadas ao enfrentamento das mudanças climáticas e à promoção do desenvolvimento sustentável. Muito além da simples substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis, esse processo envolve uma profunda reestruturação dos sistemas de produção, distribuição e consumo de energia, incorporando avanços tecnológicos, maior eficiência energética e novas formas de conversão da energia primária.

Nesse contexto, destacam-se a expansão da eletrificação dos diversos setores da economia, o desenvolvimento da cadeia do hidrogênio e a adoção de soluções capazes de ampliar o acesso da população a serviços energéticos de qualidade, conciliando crescimento econômico, inclusão social e proteção ambiental (JANNUZZI, 2024).

Sob essa perspectiva, a transição energética deve ser compreendida como um processo multidimensional, cuja efetividade depende da capacidade de promover simultaneamente segurança energética, redução das emissões

de gases de efeito estufa, geração de empregos, inclusão social, igualdade de oportunidades e custos acessíveis para consumidores e setores produtivos. Assim, o sucesso desse processo não está restrito à adoção de tecnologias de baixo carbono, mas também à construção de políticas públicas que assegurem uma transformação energética socialmente justa e ambientalmente equilibrada (JANNUZZI, 2024).

Essa compreensão está diretamente alinhada à Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, proposta pelas Nações Unidas, que reconhece a energia como um elemento estruturante para o desenvolvimento econômico e social. Entre os dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destaca-se o ODS 7, cujo propósito consiste em assegurar o acesso universal à energia limpa, acessível, confiável e moderna. A incorporação desse objetivo evidencia o reconhecimento internacional de que a sustentabilidade energética constitui requisito indispensável para a melhoria da qualidade de vida, para a redução das desigualdades e para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (SILVA; PIMENTEL, 2025).

No contexto brasileiro, essa agenda assume importância estratégica em razão das características da matriz energética nacional, historicamente marcada por elevada participação de fontes renováveis.

As energias de baixa ou nula emissão de gases de efeito estufa representam parcela significativa dessa matriz, aproximando-se de metade da oferta energética do país. Essa característica coloca o Brasil em posição favorável no cenário internacional, permitindo que o país contribua de maneira

relevante para os compromissos globais relacionados à descarbonização da economia e ao desenvolvimento sustentável (SANTOS et al., 2025).

Os investimentos direcionados à expansão das energias renováveis têm sido amplamente justificados pelos benefícios econômicos, sociais e ambientais associados à redução das emissões de gases de efeito estufa e ao fortalecimento de uma economia sustentável.

Nesse sentido, a transição energética passou a ocupar posição de destaque nas políticas públicas voltadas ao enfrentamento das mudanças climáticas, constituindo um dos principais eixos das estratégias governamentais destinadas ao cumprimento dos compromissos ambientais assumidos internacionalmente.

A perspectiva predominante destaca a capacidade desses investimentos de estimular a inovação tecnológica, gerar empregos, promover o crescimento econômico e ampliar a competitividade nacional em setores estratégicos da economia verde (SILVA; PIMENTEL, 2025).

Quando se analisa o crescimento desse setor, observa-se o fortalecimento de um ambiente favorável ao empreendedorismo voltado para tecnologias limpas, impulsionado tanto pelos investimentos privados quanto pelos incentivos estatais destinados à expansão da infraestrutura energética.

Esse movimento favorece a instalação de novos empreendimentos e amplia a participação das energias renováveis na matriz energética nacional, consolidando um processo de modernização que dialoga diretamente com os

objetivos de desenvolvimento sustentável e com os compromissos internacionais de descarbonização da economia. (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024).

No entanto, a expansão acelerada dos empreendimentos energéticos também evidencia desafios que precisam ser considerados na formulação das políticas públicas. Apesar dos benefícios amplamente divulgados, a implantação de parques eólicos, usinas solares, áreas destinadas à produção de biocombustíveis e atividades relacionadas à mineração de minerais estratégicos pode produzir impactos significativos sobre os territórios onde esses empreendimentos são instalados. Em diversas situações, esses efeitos atingem diretamente comunidades rurais, alterando dinâmicas sociais, econômicas, ambientais e culturais historicamente consolidadas (SILVA; PIMENTEL, 2025).

Esses impactos tornam-se particularmente relevantes quando envolvem populações que dependem diretamente dos recursos naturais para sua reprodução social e econômica, como agricultores familiares, comunidades camponesas, pescadores artesanais, povos indígenas e comunidades quilombolas.

Nessas circunstâncias, a implementação de grandes projetos energéticos pode provocar mudanças na ocupação do território, na disponibilidade dos recursos naturais e nas formas tradicionais de utilização da terra, exigindo que o processo de transição energética seja conduzido de forma socialmente responsável, ambientalmente equilibrada e compatível com os princípios do desenvolvimento sustentável (SILVA; PIMENTEL, 2025).

A construção de uma matriz energética de baixo carbono representa condição indispensável para a mitigação das mudanças climáticas e para a consolidação de um modelo de desenvolvimento sustentável.

Entretanto, esse processo precisa considerar que a sustentabilidade não se limita aos ganhos ambientais decorrentes da redução das emissões de gases de efeito estufa. Da mesma forma, torna-se imprescindível incorporar critérios relacionados à justiça social, à proteção dos territórios, ao respeito aos direitos das populações locais e à distribuição equilibrada dos benefícios proporcionados pelos investimentos em energias renováveis (JANNUZZI, 2024).

Nesse contexto, as comunidades rurais situadas nas áreas de implantação de parques eólicos, usinas solares, empreendimentos voltados à produção de biocombustíveis e atividades minerárias frequentemente vivenciam profundas transformações em seus modos de vida.

Embora tais empreendimentos contribuam para a expansão da oferta de energia limpa e para a redução das emissões de carbono, seus efeitos sobre o uso da terra, as relações produtivas e a organização social dos territórios demonstram que a transição energética deve ser planejada de forma integrada, conciliando eficiência econômica, proteção ambiental e inclusão social. Somente dessa forma será possível assegurar que a transição energética contribua efetivamente para o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e para a construção de um modelo de desenvolvimento verdadeiramente sustentável (SILVA; PIMENTEL, 2025).

A análise da transição energética sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável evidencia que esse processo transcende a simples substituição de fontes convencionais de energia por alternativas renováveis. Trata-se de uma transformação estrutural que envolve inovação tecnológica, reorganização das cadeias produtivas, ampliação da eficiência energética, fortalecimento da segurança no abastecimento e implementação de políticas públicas capazes de promover, simultaneamente, crescimento econômico, inclusão social e conservação ambiental.

Nessa perspectiva, o êxito da transição energética depende da capacidade de harmonizar os benefícios decorrentes da expansão das energias renováveis com a proteção dos recursos naturais e a garantia dos direitos das populações diretamente afetadas pelos novos empreendimentos (JANNUZZI, 2024).

Ao mesmo tempo, a experiência brasileira demonstra que a disponibilidade de recursos naturais favoráveis à geração de energia renovável, associada ao avanço tecnológico e aos incentivos governamentais, oferece condições promissoras para a consolidação de uma matriz energética progressivamente mais limpa e diversificada.

No entanto, a efetividade desse processo requer planejamento integrado, mecanismos adequados de governança e políticas que conciliem competitividade econômica, responsabilidade socioambiental e desenvolvimento territorial. Somente mediante essa abordagem será possível assegurar que a transição energética contribua, de forma efetiva, para o alcance dos Objetivos do

Desenvolvimento Sustentável, promovendo benefícios compartilhados entre os diferentes segmentos da sociedade e fortalecendo um modelo de desenvolvimento comprometido com as gerações presentes e futuras (SILVA; PIMENTEL, 2025).

O fortalecimento das energias renováveis como estratégia de desenvolvimento sustentável

A consolidação do potencial energético brasileiro depende da capacidade de transformar suas vantagens naturais em políticas permanentes de desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, a expansão das fontes renováveis deve ser compreendida como parte de uma estratégia nacional voltada à promoção da segurança energética, à redução das emissões de gases de efeito estufa e ao fortalecimento da competitividade econômica.

A diversidade de recursos energéticos disponíveis no território nacional constitui um diferencial importante, permitindo que o Brasil amplie sua participação no cenário internacional da transição energética sem comprometer o abastecimento interno de energia (SANTOS et al., 2025).

A utilização crescente de fontes renováveis também favorece a diversificação das atividades econômicas relacionadas ao setor energético. A expansão da geração hidrelétrica, eólica, solar e da biomassa impulsiona investimentos em infraestrutura, inovação tecnológica, pesquisa científica e qualificação profissional, promovendo o fortalecimento de cadeias produtivas capazes de gerar

emprego, renda e desenvolvimento regional. Dessa forma, a transição energética deixa de representar apenas uma mudança tecnológica, passando a constituir um importante vetor de transformação econômica e social (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

Sob essa perspectiva, a expansão da oferta de energia renovável contribui para aumentar a competitividade do país em um cenário internacional cada vez mais orientado por critérios de sustentabilidade ambiental. À medida que governos, empresas e organismos internacionais intensificam suas exigências relacionadas à redução das emissões de carbono, países que dispõem de matrizes energéticas predominantemente limpas tendem a apresentar vantagens comparativas na atração de investimentos, na inserção em mercados internacionais e na consolidação de novos segmentos industriais vinculados à economia de baixo carbono (IRENA, 2023).

Além disso, a valorização das fontes renováveis fortalece o cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil perante a comunidade internacional em matéria de mudanças climáticas. A manutenção de uma matriz energética predominantemente renovável amplia a capacidade nacional de contribuir para os esforços globais de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, reforçando a posição do país como referência na adoção de soluções energéticas ambientalmente sustentáveis (SANTOS et al., 2024).

O potencial energético brasileiro

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário internacional em razão da expressiva participação de fontes renováveis em sua matriz energética. Essa característica confere ao país vantagens estratégicas no contexto da transição energética global, especialmente diante da crescente necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover sistemas energéticos mais sustentáveis.

A ampla disponibilidade de recursos naturais, associada à diversidade das fontes de geração de energia, oferece condições favoráveis para ampliar a participação das energias limpas, fortalecer a segurança energética e impulsionar um modelo de desenvolvimento compatível com os princípios da sustentabilidade (SANTOS et al., 2025).

A relevância do potencial energético brasileiro decorre não apenas da elevada participação das fontes renováveis, mas também da diversidade de recursos disponíveis em seu território.

A matriz energética nacional é composta predominantemente por fontes renováveis, com destaque para a energia hidrelétrica, complementada pela biomassa, pela energia eólica e pela energia solar. Essa configuração

diferencia o Brasil de grande parte das economias mundiais, cuja oferta energética ainda permanece fortemente dependente de combustíveis fósseis, reforçando o papel estratégico do país na consolidação de uma economia de baixo carbono. (SANTOS et al., 2025).

Entre os diversos recursos energéticos existentes, a energia hidrelétrica continua exercendo papel fundamental na estrutura da matriz energética brasileira. Entretanto, a expansão das fontes eólica e solar tem contribuído para reduzir a concentração da geração elétrica em uma única fonte, favorecendo maior diversificação da matriz e ampliando sua capacidade de resposta diante das oscilações climáticas e das variações hidrológicas. Esse processo fortalece a segurança energética nacional e amplia as possibilidades de aproveitamento das potencialidades regionais existentes no território brasileiro (MOREIRA, 2019).

A expansão das fontes renováveis também apresenta importante dimensão territorial. As regiões Nordeste e Sul, por exemplo, destacam-se pelo acelerado crescimento da geração eólica, consolidando-se como áreas estratégicas para a diversificação da matriz energética nacional.

Diferentes regiões brasileiras apresentam condições naturais favoráveis à produção de energia solar, biomassa e outras fontes renováveis, ampliando as oportunidades para investimentos, geração de empregos e desenvolvimento econômico regional. Esse cenário evidencia que o aproveitamento racional dos recursos energéticos disponíveis pode contribuir significativamente para a redução das

desigualdades territoriais e para o fortalecimento da economia nacional (SANTOS et al., 2025).

Entre as diversas alternativas disponíveis para a expansão da oferta energética, a energia solar destaca-se pelo elevado potencial de crescimento observado no território brasileiro. A região Nordeste apresenta índices de incidência solar comparáveis aos das áreas mais favoráveis do planeta, característica que cria condições extremamente favoráveis para a ampliação da geração fotovoltaica em larga escala.

Esse potencial representa uma oportunidade estratégica para acelerar o processo de descarbonização da matriz energética, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e ampliar o acesso da população a fontes de energia renováveis e ambientalmente sustentáveis (SANTOS et al., 2025).

Apesar desse cenário promissor, a consolidação da transição energética enfrenta desafios relacionados à resistência de determinados segmentos econômicos. Setores tradicionalmente vinculados ao consumo intensivo de combustíveis fósseis frequentemente demonstram preocupação quanto aos impactos financeiros decorrentes da descarbonização da economia, manifestando resistência à implementação de políticas públicas voltadas ao fortalecimento das energias renováveis. Esse contexto evidencia que a transição energética envolve não apenas transformações tecnológicas, mas também mudanças estruturais nos modelos de produção, investimento e organização dos diferentes setores econômicos (SANTOS et al., 2025).

Sob essa perspectiva, torna-se evidente que a consolidação de uma matriz energética sustentável depende da articulação entre inovação tecnológica, planejamento governamental e participação do setor produtivo. A superação das barreiras econômicas e institucionais relacionadas à adoção de energias limpas constitui condição indispensável para que o Brasil aproveite plenamente seu potencial energético renovável e fortaleça sua posição como protagonista na transição energética mundial (IRENA, 2023).

Além dos aspectos tecnológicos e econômicos, a segurança energética brasileira exige uma estratégia baseada na complementaridade entre diferentes fontes de geração. Embora a energia hidrelétrica continue desempenhando papel central na oferta nacional de eletricidade, sua predominância torna o sistema mais suscetível às oscilações climáticas, especialmente em períodos de estiagem prolongada.

Dessa forma, a ampliação da participação de fontes como a energia eólica, solar, biomassa e outras tecnologias renováveis fortalece a confiabilidade do sistema elétrico, reduz riscos de abastecimento e amplia a resiliência da matriz energética brasileira diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas (MOREIRA, 2019).

A composição da matriz energética brasileira

A matriz energética brasileira caracteriza-se pela elevada diversidade de fontes utilizadas para suprir as demandas de energia da sociedade e dos diferentes setores produtivos. Essa diversidade constitui um dos principais diferenciais do país, uma vez que combina fontes renováveis e não renováveis em uma estrutura relativamente equilibrada, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis quando comparada à realidade predominante em grande parte do mundo. Essa configuração fortalece a segurança energética nacional e amplia as possibilidades de expansão sustentável da oferta de energia (MME, 2024).

Entre as fontes renováveis que compõem essa matriz, destacam-se a energia hidrelétrica, a biomassa e a energia eólica, responsáveis por parcela significativa da produção energética nacional. A presença dessas fontes contribui diretamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, favorecendo o cumprimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito das políticas internacionais voltadas ao enfrentamento das mudanças climáticas. Além disso, a diversificação da matriz energética amplia a

capacidade de adaptação do sistema elétrico às transformações econômicas, tecnológicas e ambientais que caracterizam a transição energética contemporânea (MME, 2024).

Os dados apresentados pelo Balanço Energético Nacional evidenciam a importância das fontes renováveis na composição da matriz energética brasileira. Em 2023, essas fontes representaram parcela expressiva da oferta total de energia, mantendo a fonte hidráulica como principal componente da geração nacional. Esses resultados demonstram que o Brasil reúne condições favoráveis para consolidar um modelo energético menos intensivo em carbono, fortalecendo sua competitividade internacional e contribuindo para a construção de um sistema energético ambientalmente mais sustentável (EPE, 2024).

Além de favorecer a redução das emissões atmosféricas, a elevada participação das fontes renováveis proporciona benefícios relacionados à segurança do abastecimento energético e à maior estabilidade do sistema nacional.

No entanto, a continuidade desse processo exige investimentos permanentes na modernização da infraestrutura elétrica, na ampliação da capacidade de transmissão e distribuição de energia e no fortalecimento de políticas voltadas à integração de novas tecnologias renováveis ao sistema energético brasileiro. Somente mediante esse conjunto de ações será possível assegurar que a matriz energética continue evoluindo de forma compatível com os desafios impostos pela transição energética e pelo desenvolvimento sustentável (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

A diversificação da matriz energética constitui um dos principais pilares para a consolidação de um sistema energético resiliente, eficiente e ambientalmente sustentável. Embora a elevada participação das fontes renováveis represente uma vantagem competitiva para o Brasil, a concentração excessiva da geração elétrica em determinadas tecnologias pode aumentar a vulnerabilidade do sistema diante de eventos climáticos extremos, alterações hidrológicas e oscilações na disponibilidade dos recursos naturais. Nesse sentido, a ampliação equilibrada da participação de diferentes fontes renováveis fortalece a segurança energética e amplia a capacidade de resposta do país frente aos desafios futuros (MOREIRA, 2019).

Sob essa perspectiva, o fortalecimento da geração eólica, solar, da biomassa e de outras tecnologias renováveis não deve ser compreendido como substituição isolada da geração hidrelétrica, mas como estratégia complementar destinada a tornar a matriz energética mais robusta, diversificada e capaz de atender às crescentes demandas por energia. Essa abordagem favorece a redução dos riscos associados à dependência de uma única fonte energética e contribui para a construção de um modelo de desenvolvimento comprometido com a sustentabilidade ambiental, a competitividade econômica e a segurança do abastecimento nacional (SANTOS et al., 2025).

A transição energética no Brasil

A transição energética brasileira insere-se em um contexto de profundas transformações econômicas, ambientais e tecnológicas, exigindo que o país concilie a ampliação da participação das fontes renováveis com a garantia da segurança energética.

Embora o elevado percentual de energias renováveis na matriz elétrica nacional represente uma vantagem comparativa em relação a diversas economias, essa característica também impõe novos desafios, sobretudo em razão da crescente influência das mudanças climáticas sobre os regimes de precipitação, a intensidade dos ventos e os níveis de incidência solar. Tais fatores afetam diretamente a estabilidade da geração de energia, tornando imprescindível o desenvolvimento de estratégias capazes de assegurar o equilíbrio entre sustentabilidade ambiental, confiabilidade do sistema e atendimento contínuo da demanda energética (JANNUZZI, 2024).

Historicamente, a forte dependência da geração hidrelétrica expôs o Brasil a sucessivas crises de abastecimento decorrentes de períodos prolongados de estiagem. Em resposta a esse cenário, a expansão do parque termoelétrico foi adotada como importante mecanismo para reforçar a segurança do sistema elétrico nacional. Entretanto, diante dos compromissos

internacionais assumidos pelo país para a redução das emissões de gases de efeito estufa, essa alternativa tende a perder protagonismo nas próximas décadas.

Assim, a segurança energética deverá estar fundamentada na ampliação da oferta de fontes renováveis, na adoção de mecanismos de gestão da demanda e na incorporação de tecnologias capazes de conferir maior flexibilidade operacional ao sistema elétrico brasileiro. Entre essas soluções destacam-se os sistemas de armazenamento de energia, a digitalização das redes elétricas, os instrumentos econômicos voltados ao gerenciamento do consumo e a crescente integração entre os setores de energia, transportes e comunicações (SANTOS et al., 2025).

Essa transformação, contudo, não pode ser compreendida apenas sob a perspectiva da expansão das energias renováveis. A transição energética brasileira precisa considerar o peso econômico exercido pela cadeia produtiva do petróleo e do gás natural, cuja importância permanece significativa para a economia nacional. Em 2023, o Brasil ocupava a nona posição entre os maiores produtores mundiais de petróleo, alcançando aproximadamente 3,1 milhões de barris por dia, além de figurar entre os principais consumidores de derivados petrolíferos.

As atividades de exploração, produção, refino e exportação desses recursos representam importante fonte de arrecadação, geração de empregos e desenvolvimento regional, especialmente em estados produtores. Dessa forma, torna-se indispensável definir mecanismos que permitam ao setor participar do financiamento da transição energética,

contribuindo para a implementação de políticas de descarbonização sem comprometer sua relevância econômica durante o período de transformação estrutural da matriz energética nacional (JANNUZZI, 2024).

Paralelamente às questões relacionadas à produção de energia, a transição energética brasileira deve enfrentar um problema de elevada relevância social: a pobreza energética. Embora o país disponha de uma matriz relativamente limpa quando comparada à média internacional, parcela significativa da população ainda enfrenta dificuldades para acessar serviços adequados de eletricidade, transporte e combustíveis destinados à cocção.

Essa realidade manifesta-se com maior intensidade em áreas remotas, especialmente na região amazônica, onde as características geográficas e a baixa densidade populacional dificultam a implantação de sistemas convencionais de fornecimento energético.

A superação desse desafio exige a adoção de soluções baseadas em fontes renováveis descentralizadas, combinadas com modelos inovadores de financiamento e gestão capazes de garantir acesso universal à energia de forma ambientalmente sustentável, economicamente viável e socialmente inclusiva (SANTOS et al., 2025).

Além das demandas internas, a transição energética brasileira é impulsionada pelos compromissos internacionais assumidos pelo país no âmbito dos acordos climáticos globais. O Brasil comprometeu-se a ampliar a participação das fontes renováveis, elevar a eficiência energética, reduzir as emissões de metano e alcançar a neutralidade de carbono até 2050.

Embora o país já apresente elevada participação de fontes renováveis na geração de eletricidade, particularmente em razão da predominância da energia hidrelétrica, o cumprimento dessas metas dependerá da formulação de novas políticas públicas capazes de estimular a inovação tecnológica, ampliar os mecanismos de financiamento e promover transformações estruturais nos mercados energéticos.

Esses desafios mostram-se particularmente relevantes para setores de elevada intensidade carbônica, como o transporte de cargas e determinados segmentos industriais, nos quais a descarbonização ainda demanda soluções tecnológicas e institucionais de maior complexidade (FAPESP, 2021).

Apesar dos avanços já alcançados, a descarbonização da economia brasileira permanece cercada por desafios que extrapolam a simples substituição de fontes fósseis por renováveis. A construção de um sistema energético competitivo exige que os princípios da viabilidade econômica, da justiça social e da sustentabilidade ambiental sejam incorporados de forma integrada ao planejamento nacional.

Sob essa perspectiva, a transição energética configura-se como um processo multidimensional que envolve mudanças tecnológicas, institucionais, regulatórias e econômicas, exigindo ampla reestruturação da infraestrutura de produção, transmissão, distribuição e consumo de energia.

Além disso, torna-se indispensável fortalecer a integração entre diferentes setores econômicos, aperfeiçoar os mecanismos regulatórios e criar condições para o desenvolvimento de novos mercados energéticos, capazes de

responder às exigências de uma economia de baixo carbono (JANNUZZI, 2024).

No entanto, a concretização da transição energética brasileira depende, em grande medida, da modernização da infraestrutura física responsável pela produção, transporte, distribuição e consumo de energia. A configuração atual dessa infraestrutura foi consolidada principalmente no período posterior à Segunda Guerra Mundial, intensificando-se a partir da década de 1970, quando o país promoveu expressivos investimentos na expansão dos sistemas de petróleo, gás natural e eletricidade (LAMPIS et al., 2021).

Embora esses investimentos tenham sido fundamentais para o desenvolvimento econômico nacional, grande parte dessa estrutura foi concebida para atender a um modelo energético centralizado, baseado predominantemente em grandes empreendimentos de geração e em combustíveis fósseis, realidade bastante distinta daquela imposta pelas atuais exigências de sustentabilidade, digitalização e descarbonização da economia (FAPESP, 2021).

Nas últimas décadas, o avanço das tecnologias voltadas à geração distribuída, ao aproveitamento de biometano, biogás e, futuramente, do hidrogênio de baixo carbono evidencia a necessidade de adaptação da infraestrutura energética existente. Ao mesmo tempo, os eventos climáticos extremos, cuja frequência e intensidade vêm aumentando em consequência das mudanças climáticas, reforçam a importância de tornar os sistemas energéticos mais resilientes, flexíveis e capazes de responder rapidamente às oscilações de oferta e demanda.

Assim, a modernização da infraestrutura deixa de representar apenas um investimento em eficiência operacional, passando a constituir elemento essencial para assegurar a continuidade do abastecimento energético em um cenário de crescente complexidade ambiental e tecnológica (JANNUZZI, 2024).

A expansão das fontes solar e eólica, tanto em empreendimentos terrestres quanto em instalações offshore, também impõe profundas transformações na estrutura do sistema elétrico brasileiro. O crescimento acelerado dessas modalidades de geração exige investimentos contínuos na ampliação e modernização das redes de transmissão, na incorporação de sistemas inteligentes de gerenciamento da energia e na adoção de tecnologias capazes de garantir maior estabilidade operacional diante da variabilidade característica dessas fontes renováveis.

Diante disto, observa-se a necessidade de fortalecer a integração entre o setor elétrico, os sistemas de armazenamento de energia, a mobilidade elétrica e a futura cadeia produtiva do hidrogênio verde, consolidando uma infraestrutura mais eficiente, interligada e preparada para os desafios da economia de baixo carbono (LAMPIS et al., 2021).

A modernização, entretanto, não deve restringir-se aos sistemas responsáveis pela geração e distribuição de energia. Também se faz necessária a adaptação da infraestrutura de consumo, abrangendo a malha viária, os edifícios públicos e privados, os equipamentos industriais, os veículos, os sistemas urbanos e o planejamento territorial. Tecnologias de elevada eficiência energética, particularmente

aquelas relacionadas à eletromobilidade, dependem da existência de redes inteligentes, estações de recarga, edificações preparadas para novas demandas energéticas e ambientes urbanos capazes de integrar diferentes soluções tecnológicas. Dessa forma, a infraestrutura física torna-se elemento estratégico para viabilizar a consolidação de um modelo energético mais sustentável, resiliente e compatível com os desafios impostos pelas mudanças climáticas (BRASIL, 2016).

É oportuno destacar que a transformação da matriz energética brasileira demanda, igualmente, profundas reformas institucionais e regulatórias. A incorporação crescente de tecnologias de baixa emissão de carbono modifica substancialmente o funcionamento dos mercados energéticos, exigindo novos instrumentos jurídicos, econômicos e administrativos capazes de acompanhar a velocidade das inovações tecnológicas.

Nesse contexto, as mudanças regulatórias não se limitam às tecnologias de geração de energia, estendendo-se também às soluções digitais que possibilitam a criação de novos modelos de negócios, a integração de diferentes agentes econômicos e a articulação entre setores tradicionalmente tratados de forma independente, como energia, transportes, habitação e comunicações (FAPESP, 2021).

A consolidação desse novo ambiente institucional exige planejamento estratégico, produção contínua de conhecimento científico e avaliação permanente dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes das transformações em curso.

Torna-se indispensável revisar os marcos regulatórios, aperfeiçoar os mecanismos de regulação técnica e econômica e adaptar as instituições responsáveis pela governança do setor energético às novas demandas impostas pela transição. Essas medidas contribuem para ampliar a segurança jurídica, reduzir riscos regulatórios e criar condições favoráveis à participação da iniciativa privada na implantação de novos empreendimentos energéticos, preservando, simultaneamente, o interesse público e os princípios da sustentabilidade ambiental (ANP, 2024).

Outro aspecto relevante refere-se ao elevado volume de investimentos necessário para viabilizar a transição energética brasileira. Os recursos públicos, embora importantes, mostram-se insuficientes para financiar isoladamente as transformações estruturais requeridas pelo setor.

Em razão dessa limitação, torna-se imprescindível estabelecer mecanismos capazes de mobilizar capital privado, ampliar instrumentos de financiamento de longo prazo e criar ambientes institucionais favoráveis à inovação tecnológica. Nesse processo, arranjos regulatórios eficientes, políticas públicas consistentes e modelos de governança transparentes assumem papel decisivo para assegurar a continuidade dos investimentos necessários à consolidação de uma economia de baixo carbono (ANP, 2024).

Sob essa perspectiva, fatores como a qualidade dos arranjos institucionais, a existência de mecanismos adequados de financiamento e a formação de recursos humanos especializados constituem elementos estratégicos para o

desenvolvimento do mercado brasileiro de energia limpa. A disponibilidade desses instrumentos amplia a capacidade de atração de investimentos nacionais e internacionais, fortalece o ambiente de inovação e favorece a criação de novas oportunidades econômicas associadas às tecnologias de baixo carbono.

Consequentemente, a transição energética deixa de ser compreendida apenas como uma mudança tecnológica, passando a representar um amplo processo de transformação institucional, econômica e social, cuja efetividade depende da articulação entre Estado, setor produtivo, comunidade científica e sociedade civil (JANNUZZI, 2024).

Embora historicamente a matriz energética brasileira tenha sido fortemente sustentada pela geração hidrelétrica, observa-se, nas últimas décadas, um processo contínuo de diversificação das fontes energéticas. Esse movimento tem sido impulsionado pela crescente incorporação de energias renováveis, frequentemente denominadas energias limpas em razão de suas reduzidas emissões de gases poluentes durante a operação. Tal processo amplia a segurança do abastecimento energético, reduz a dependência de fontes convencionais e fortalece a competitividade da economia nacional diante das transformações observadas no mercado internacional de energia (CCEE, 2022).

A expansão dessas novas fontes vem ocorrendo de forma particularmente acelerada em determinadas regiões do país, sobretudo no Nordeste brasileiro e no Norte de Minas Gerais, onde a elevada disponibilidade de recursos naturais favorece a implantação de grandes complexos de geração

eólica e solar. A concentração desses empreendimentos evidencia a importância das características geográficas nacionais para o desenvolvimento das energias renováveis, ao mesmo tempo em que reforça o papel estratégico dessas regiões na consolidação da transição energética brasileira e na redução progressiva da dependência de fontes não renováveis (LAMPIS et al., 2021).

Deve-se também destacar que a transição energética brasileira adquiriu maior dinamismo nos últimos anos em decorrência da intensificação dos investimentos direcionados às fontes renováveis, especialmente à energia eólica e à energia solar fotovoltaica. Esse movimento acompanha uma tendência observada em diversos países, marcada pela substituição gradual dos combustíveis fósseis por fontes energéticas de menor intensidade de carbono.

Mais do que uma resposta às exigências ambientais contemporâneas, essa transformação reflete a necessidade de construção de um modelo energético capaz de conciliar crescimento econômico, segurança do abastecimento e sustentabilidade ambiental.

Nesse contexto, a expansão das energias renováveis fortalece a posição do Brasil diante dos compromissos internacionais assumidos no âmbito da Agenda 2030 das Nações Unidas e dos acordos globais relacionados ao enfrentamento das mudanças climáticas (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024).

Sob essa perspectiva, o fortalecimento das fontes renováveis transcende a simples incorporação de novas tecnologias de geração elétrica. A ampliação da capacidade

instalada representa uma estratégia voltada à diversificação da matriz energética, à redução da vulnerabilidade diante das oscilações do mercado internacional de combustíveis fósseis e ao fortalecimento da competitividade da economia brasileira. Simultaneamente, essa expansão estimula o desenvolvimento de novas cadeias produtivas associadas à economia de baixo carbono, favorecendo a geração de empregos qualificados, a atração de investimentos e o desenvolvimento tecnológico nacional.

Dessa forma, a transição energética passa a constituir importante instrumento de desenvolvimento econômico sustentável, combinando inovação, segurança energética e responsabilidade ambiental (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024).

Os avanços recentemente observados na matriz elétrica brasileira evidenciam a consolidação desse processo de transformação. Conforme demonstrado pelo **Balanço Energético Nacional de 2024**, a geração de energia solar fotovoltaica registrou crescimento expressivo, alcançando aproximadamente 50,6 TWh, resultado que engloba tanto os empreendimentos de geração centralizada quanto os sistemas de micro e minigeração distribuída.

Assim, verificou-se um significativo aumento da capacidade instalada dessa fonte em relação ao período anterior, refletindo a continuidade dos investimentos realizados pelo setor público e pela iniciativa privada. Esses resultados demonstram que a energia solar vem assumindo posição cada vez mais relevante na composição da matriz elétrica brasileira, consolidando-se como uma das principais

alternativas para a expansão sustentável da oferta de eletricidade (BRASIL, 2024).

Desempenho igualmente significativo pode ser observado na geração eólica, cuja produção alcançou níveis historicamente elevados, acompanhada por importante crescimento da potência instalada. Em sentido diverso, a geração hidrelétrica apresentou relativa estabilidade, registrando apenas pequena redução quando comparada ao período anterior.

Essa evolução revela que a matriz elétrica brasileira encontra-se em um processo contínuo de diversificação, reduzindo gradativamente a concentração histórica da geração de eletricidade nas usinas hidrelétricas. A ampliação da participação das fontes solar e eólica fortalece a segurança energética nacional, amplia a flexibilidade operacional do sistema elétrico e reduz a exposição aos riscos decorrentes da variabilidade hidrológica, aspecto particularmente relevante em um contexto de intensificação das mudanças climáticas (BRASIL, 2024).

O crescimento das energias renováveis resulta da convergência de diversos fatores estruturais. Entre eles, destacam-se a ampla disponibilidade de recursos naturais existentes no território brasileiro, particularmente a elevada incidência solar e os regimes favoráveis de ventos, a contínua redução dos custos internacionais dos equipamentos empregados na geração de energia, os avanços tecnológicos observados nos últimos anos e os incentivos implementados pelas políticas públicas nacionais.

A combinação desses elementos vem impulsionando a implantação de novos empreendimentos em diferentes regiões do país, ampliando a participação das fontes renováveis na matriz elétrica e fortalecendo as bases para a consolidação de um modelo energético mais limpo, diversificado e resiliente (SANTOS et al.. 2025).

Embora a expansão das energias solar e eólica represente uma das manifestações mais visíveis da transição energética brasileira, a descarbonização da matriz energética nacional envolve um conjunto muito mais amplo de transformações. O processo não se limita à geração de eletricidade, abrangendo também outras fontes renováveis capazes de reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa e ampliar a diversidade das alternativas energéticas disponíveis. Nesse cenário, a diversificação da matriz constitui elemento estratégico para aumentar a segurança do abastecimento, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e fortalecer a sustentabilidade do desenvolvimento econômico brasileiro (SILVA; PIMENTEL, 2025).

Entre essas alternativas, os biocombustíveis ocupam posição de destaque em razão da experiência acumulada pelo Brasil ao longo de várias décadas na produção, distribuição e utilização desses energéticos. O etanol e o biodiesel consolidaram-se como componentes fundamentais da política energética nacional, contribuindo para reduzir as emissões provenientes do setor de transportes e estimular o desenvolvimento do agronegócio e da indústria de biocombustíveis. Essa trajetória diferencia o Brasil no cenário

internacional, uma vez que poucos países dispõem de uma estrutura produtiva tão consolidada para a produção em larga escala de combustíveis renováveis (SILVA; PIMENTEL, 2025).

Os indicadores mais recentes confirmam a importância crescente dessas fontes na composição da matriz energética brasileira. O consumo final de etanol apresentou expansão em relação ao período anterior, alcançando volume expressivo em 2023.

De forma semelhante, o biodiesel também registrou aumento significativo de consumo, evidenciando que os biocombustíveis permanecem desempenhando papel estratégico na diversificação da oferta energética nacional. Além de reduzir a dependência dos derivados de petróleo, essas fontes contribuem diretamente para o fortalecimento das políticas nacionais de mitigação das mudanças climáticas e para o cumprimento dos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil na área ambiental (SANTOS et al., 2025).

Paralelamente à expansão das fontes renováveis, a consolidação da economia de baixo carbono amplia significativamente a demanda por minerais estratégicos indispensáveis à fabricação de equipamentos utilizados na geração, transmissão e armazenamento de energia. Recursos minerais como lítio, cobalto, cobre, estanho, grafita, manganês e elementos de terras raras passaram a ocupar posição central nas cadeias produtivas associadas às tecnologias limpas, tornando-se insumos essenciais para a produção de baterias, turbinas eólicas, painéis solares, sistemas de armazenamento e veículos elétricos.

Assim, a transição energética também promove profundas transformações na geopolítica dos recursos minerais e nas cadeias globais de suprimentos, criando novos desafios relacionados à exploração sustentável desses materiais estratégicos (SILVA; PIMENTEL, 2025).

Esse panorama evidencia que a transição energética ultrapassa os limites do setor elétrico, alcançando praticamente todos os segmentos da economia e promovendo uma ampla reorganização dos sistemas produtivos contemporâneos. A substituição progressiva dos combustíveis fósseis por fontes renováveis exige investimentos não apenas na expansão da capacidade de geração de energia, mas também no fortalecimento das cadeias industriais responsáveis pela fabricação de equipamentos, baterias, sistemas inteligentes de armazenamento, infraestrutura de transmissão e demais tecnologias indispensáveis à consolidação de uma economia de baixo carbono.

Em síntese, a transição energética configura-se como um processo estrutural de modernização econômica e tecnológica, cuja efetividade depende da articulação entre inovação, investimentos, políticas públicas e desenvolvimento industrial sustentável (JANNUZZI, 2024).

Perspectivas para o aproveitamento do potencial energético brasileiro

Embora os indicadores atuais evidenciem uma posição favorável do Brasil no contexto da transição energética, a continuidade desse processo depende da implementação de políticas públicas capazes de estimular investimentos, ampliar a infraestrutura energética e fortalecer a integração entre governo, setor produtivo e comunidade científica. A modernização do sistema energético nacional exige planejamento de longo prazo, incentivos à inovação e mecanismos regulatórios que favoreçam a expansão das energias renováveis de forma técnica, economicamente viável e socialmente equilibrada (MME, 2024).

Nesse contexto, torna-se igualmente importante promover investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação, especialmente em tecnologias voltadas ao armazenamento de energia, à digitalização das redes elétricas, à eficiência energética e ao aproveitamento de novos recursos renováveis. Essas iniciativas ampliam a capacidade de adaptação do sistema energético às transformações tecnológicas em curso e fortalecem a competitividade do Brasil

diante das novas exigências impostas pela economia global de baixo carbono (IRENA, 2023).

A consolidação da transição energética exige que os benefícios decorrentes da expansão das fontes renováveis sejam distribuídos de forma equilibrada entre as diferentes regiões do país. O aproveitamento do potencial energético nacional deve contribuir para reduzir desigualdades territoriais, promover inclusão produtiva, estimular o desenvolvimento regional e ampliar o acesso da população à energia de qualidade.

Dessa maneira, a política energética passa a desempenhar papel estratégico não apenas na promoção da sustentabilidade ambiental, mas também no fortalecimento do desenvolvimento econômico e social (SANTOS et al., 2025).

A análise do potencial energético brasileiro evidencia que o país reúne condições excepcionais para consolidar sua liderança no processo de transição energética mundial. A elevada participação de fontes renováveis, associada à diversidade de recursos naturais, ao potencial de expansão da energia eólica e solar e à experiência acumulada na utilização de biocombustíveis e geração hidrelétrica, constitui uma base sólida para a construção de uma matriz energética cada vez mais sustentável, resiliente e diversificada. Entretanto, a manutenção dessa posição exige investimentos permanentes em inovação tecnológica, infraestrutura, planejamento energético e aperfeiçoamento das políticas públicas voltadas ao setor (SANTOS et al., 2025).

Ao mesmo tempo, o fortalecimento do potencial energético brasileiro deve estar fundamentado em uma

perspectiva integrada de desenvolvimento sustentável, na qual os avanços tecnológicos e econômicos sejam acompanhados pela promoção da inclusão social, da segurança energética e da proteção ambiental. Assim, a transição energética deixa de representar apenas uma resposta aos desafios impostos pelas mudanças climáticas, assumindo papel estratégico na construção de um modelo de desenvolvimento capaz de conciliar competitividade econômica, responsabilidade socioambiental e melhoria da qualidade de vida da população (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

Os desafios da transição energética no Brasil

Os fundamentos e a complexidade da transição energética

A transição energética configura-se como um dos maiores desafios contemporâneos para o desenvolvimento sustentável, uma vez que envolve profundas transformações na forma de produzir, distribuir e consumir energia. No contexto brasileiro, esse processo ultrapassa a simples substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis, exigindo a construção de um modelo capaz de conciliar crescimento econômico, proteção ambiental e inclusão social.

Embora os avanços tecnológicos tenham ampliado significativamente a viabilidade das energias renováveis, a implementação desse novo paradigma ainda é marcada por conflitos territoriais, econômicos e políticos que tornam a transição um fenômeno complexo e multifacetado (JANNUZZI, 2024).

Sob essa perspectiva, torna-se necessário reconhecer que a expansão das fontes renováveis também produz novos desafios socioambientais. A implantação de grandes empreendimentos energéticos frequentemente segue a lógica da valorização do capital e da ocupação intensiva do território,

podendo invisibilizar impactos sociais e ambientais relevantes. A produção dos equipamentos empregados na geração de energia, como os painéis fotovoltaicos, demanda matérias-primas cuja extração e posterior descarte suscitam questionamentos acerca da efetiva sustentabilidade dessas tecnologias.

Além disso, a instalação de extensos parques solares em áreas agricultáveis influencia o mercado fundiário e pode comprometer territórios tradicionalmente ocupados por comunidades locais, reforçando a necessidade de mecanismos de planejamento territorial que conciliem expansão energética e justiça socioambiental (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024).

Diante desse cenário, a transição energética deve ser orientada por princípios que extrapolem a redução das emissões de gases de efeito estufa. Seu planejamento precisa assegurar a ampliação do acesso da população aos serviços energéticos, promover a sustentabilidade ambiental, estimular a geração de empregos, fortalecer a igualdade de gênero e garantir que os custos da energia permaneçam socialmente acessíveis. Assim, a transição energética deixa de representar apenas uma agenda ambiental para assumir caráter estratégico no desenvolvimento econômico e social, contribuindo para reduzir desigualdades e ampliar a qualidade de vida da população (JANNUZZI, 2024).

A característica central da atual transição energética reside justamente na necessidade de promover uma redução expressiva das emissões de dióxido de carbono provenientes da utilização de combustíveis fósseis.

Nesse contexto, observa-se um movimento de retomada de fontes energéticas historicamente conhecidas, como a biomassa, a energia solar e a energia eólica, que passaram a apresentar elevado grau de eficiência tecnológica, menores custos de produção e maior competitividade econômica. Dessa forma, a inovação tecnológica não apenas ampliou o potencial dessas fontes renováveis, como também possibilitou sua incorporação em larga escala aos sistemas energéticos contemporâneos (LAMPIS et al., 2021).

Entretanto, para países em desenvolvimento, como o Brasil, a descarbonização não pode ser dissociada dos objetivos de crescimento econômico e inclusão social. As diferentes trajetórias da transição energética devem incorporar mecanismos capazes de promover desenvolvimento regional, redução das desigualdades, equidade de gênero e fortalecimento das oportunidades econômicas.

É nesse contexto que ganha relevância o conceito de transição justa, compreendido como um processo que busca compatibilizar os objetivos climáticos com a promoção da justiça social, garantindo que os benefícios e os custos da transformação energética sejam distribuídos de forma equilibrada entre os diferentes segmentos da sociedade (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024).

Ao mesmo tempo, a crescente participação das fontes renováveis introduz novas vulnerabilidades ao sistema energético. Além da conhecida intermitência da geração solar e eólica, os próprios efeitos das mudanças climáticas alteram os padrões de pluviosidade, velocidade dos ventos e incidência

solar, produzindo impactos diretos sobre a segurança do abastecimento energético.

Essa realidade exige o desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia, mecanismos inteligentes de gerenciamento da demanda e tecnologias capazes de conferir maior flexibilidade operacional à infraestrutura energética nacional. Em consequência, o sistema energético do futuro será substancialmente mais integrado, dinâmico e tecnologicamente sofisticado do que aquele construído ao longo do século XX (LAMPIS et al., 2021).

A velocidade com que essa transformação ocorre depende, em grande medida, da capacidade dos governos de formular políticas públicas consistentes. Instrumentos regulatórios, incentivos econômicos, planejamento de longo prazo e mecanismos de coordenação institucional exercem influência decisiva sobre a direção e a intensidade da transição energética.

Nesse sentido, as políticas públicas não apenas estimulam investimentos em tecnologias limpas, mas também reduzem incertezas regulatórias, fortalecem a confiança dos agentes econômicos e criam condições favoráveis para a consolidação de uma economia de baixo carbono (JANNUZZI, 2024).

A compreensão da transição energética exige, igualmente, uma abordagem multidisciplinar capaz de integrar conhecimentos provenientes das ciências políticas, economia, geografia, relações internacionais e história. Tal perspectiva permite analisar de maneira mais abrangente os conflitos relacionados ao uso dos recursos naturais, às disputas

territoriais e às diferentes formas de apropriação dos benefícios econômicos decorrentes da expansão das energias renováveis.

Ao incorporar as especificidades geográficas, institucionais e socioeconômicas de cada região, torna-se possível construir estratégias mais inclusivas e adaptadas às realidades locais, favorecendo uma transição energética efetivamente justa e equitativa (LAMPIS et al., 2021).

Além dos aspectos institucionais e territoriais, a aceitação social constitui um fator determinante para o sucesso da transição energética. A limitada conscientização da população acerca dos benefícios das energias renováveis, aliada à insuficiente divulgação científica e à escassa participação social nos processos decisórios, pode retardar significativamente a implementação de novos empreendimentos.

Nesse contexto, a atuação da mídia, das instituições de pesquisa e das organizações da sociedade civil torna-se fundamental para ampliar o acesso à informação e fortalecer o diálogo entre os diferentes atores envolvidos. Da mesma forma, deve-se reconhecer que a implantação da infraestrutura energética modifica a paisagem e pode provocar impactos ambientais e sociais relevantes, tornando indispensável a participação das comunidades diretamente afetadas no processo de planejamento e implementação das novas tecnologias (FERREIRA; GONÇALVES, 2022).

Por essa razão, a consolidação da transição energética pressupõe a construção de uma Transição Eco Social Justa, fundamentada na articulação entre justiça ambiental, inclusão social e sustentabilidade econômica. A denominada transição

sociotécnica envolve profundas reconfigurações das estruturas produtivas, tecnológicas e institucionais, promovendo mudanças graduais, porém abrangentes, na organização da sociedade.

Mais do que substituir tecnologias, esse processo requer novas formas de governança, participação social e distribuição dos benefícios do desenvolvimento, permitindo que a transformação energética contribua para a construção de um modelo de sociedade mais democrático, sustentável e socialmente equitativo (SVAMPA; BERTINAT, 2022)

Desafios tecnológicos, institucionais e de governança

O avanço da descarbonização tem ocupado posição central nas agendas de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável em diferentes países. Nesse contexto, a substituição gradual dos combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia passou a ser reconhecida como uma das principais estratégias para mitigar as mudanças climáticas de origem antrópica.

Essa transformação, entretanto, não se limita à incorporação de novas tecnologias de geração energética, mas promove alterações estruturais nos sistemas produtivos, na organização territorial e nas dinâmicas econômicas, criando oportunidades e desafios que se manifestam de maneira distinta em cada contexto regional (FERREIRA; GONÇALVES, 2022).

Embora a disponibilidade de recursos naturais e as condições físicas do território constituam fatores relevantes

para a localização dos empreendimentos energéticos, a experiência internacional demonstra que o sucesso da transição energética depende igualmente de aspectos institucionais e organizacionais.

Características relacionadas à infraestrutura existente, às especificidades geográficas, aos fatores sociotécnicos e aos modelos de governança exercem influência direta sobre a velocidade e a eficácia da incorporação das energias renováveis. Assim, a transição energética deve ser compreendida como um processo territorialmente diferenciado, cuja implementação exige soluções compatíveis com as particularidades de cada região (LAMPIS *et al.*, 2021).

As experiências internacionais evidenciam que a atuação coordenada do Estado desempenha papel decisivo na condução desse processo. Diversos países estabeleceram metas ambiciosas de descarbonização e ampliaram significativamente seus investimentos em energias renováveis.

A Alemanha, por exemplo, definiu como objetivo ampliar a participação das fontes renováveis na geração de eletricidade; os Estados Unidos passaram a adotar metas expressivas de redução das emissões de gases de efeito estufa; a China intensificou simultaneamente a expansão das energias renováveis e da mobilidade elétrica; enquanto os países da região nórdico-báltica consolidaram a energia eólica *onshore* como um dos principais instrumentos para alcançar a neutralidade de carbono. Essas experiências demonstram que políticas públicas consistentes, planejamento estratégico e investimentos contínuos constituem fatores determinantes

para acelerar a transformação dos sistemas energéticos (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024).

A consecução dessas metas depende da construção de estruturas institucionais sólidas e de mecanismos eficientes de governança. Além das inovações tecnológicas, a transição energética exige o estabelecimento de marcos regulatórios, instrumentos normativos e sistemas de coordenação capazes de integrar os múltiplos atores envolvidos no processo.

A interação entre diferentes níveis de governo, setor produtivo, comunidade científica e sociedade civil vem sendo apontada como requisito indispensável para criar condições estruturais favoráveis ao desenvolvimento das energias renováveis. Nesse sentido, os novos arranjos de governança desafiam os modelos tradicionais de organização do setor energético, exigindo maior articulação institucional e capacidade de coordenação das políticas públicas (FERREIRA; GONÇALVES, 2022).

Apesar dos avanços observados, persistem importantes limitações relacionadas ao ambiente regulatório. Fragilidades nos marcos legais, insuficiência dos mecanismos de monitoramento, utilização de tecnologias desatualizadas e escassez de mão de obra qualificada constituem fatores que dificultam a modernização dos sistemas energéticos. Essas limitações comprometem a capacidade de implementação das políticas de descarbonização e reduzem a atratividade do setor para novos investimentos, tornando imprescindível o aperfeiçoamento das instituições responsáveis pela regulação e fiscalização do mercado energético (LAMPIS et al., 2021).

Outro elemento essencial refere-se ao financiamento da transição energética. A implantação de projetos de infraestrutura inovadora, especialmente em regiões periféricas e com menor grau de desenvolvimento econômico, depende da disponibilidade de recursos financeiros compatíveis com a magnitude dos investimentos necessários. Entretanto, deficiências institucionais, insegurança regulatória e limitações nos mecanismos de financiamento podem retardar significativamente esse processo, aprofundando desigualdades regionais e dificultando a universalização dos benefícios proporcionados pela expansão das energias renováveis (FERREIRA; GONÇALVES, 2022).

Além da disponibilidade de recursos financeiros, a própria governança da infraestrutura energética assume importância estratégica para a consolidação da transição sociotécnica. A compreensão dos mecanismos de planejamento, operação e coordenação dos sistemas energéticos torna-se fundamental para promover a descentralização da produção, aumentar a resiliência das redes e fortalecer a maturidade institucional do setor.

Dessa forma, a infraestrutura deixa de ser compreendida apenas como um conjunto de ativos físicos, passando a representar um elemento estruturante da governança energética e da sustentabilidade do sistema como um todo (LAMPIS *et al.*, 2021).

A interação entre os diversos atores envolvidos também influencia diretamente a configuração da infraestrutura energética descentralizada e a capacidade regional de geração de energia. A participação coordenada de

governos, empresas, universidades, instituições financeiras e comunidades locais favorece a construção de sistemas mais eficientes, resilientes e adaptados às necessidades territoriais. Em contrapartida, a ausência de infraestrutura adequada e a limitada atuação dos formuladores de políticas públicas restringem a expansão das energias renováveis, evidenciando a necessidade de estratégias integradas capazes de ampliar o acesso à energia e reduzir as desigualdades regionais (FERREIRA; GONÇALVES, 2022).

Nesse contexto, a governança energética contemporânea deve ser compreendida como um processo permanente de articulação institucional, planejamento estratégico e coordenação multissetorial. Somente por meio da integração entre inovação tecnológica, regulação eficiente, participação social e investimentos estruturantes será possível consolidar um sistema energético capaz de responder simultaneamente às demandas de segurança energética, competitividade econômica e sustentabilidade ambiental, princípios que orientam a atual transição para uma economia de baixo carbono. (JANNUZZI, 2024).

Obstáculos econômicos, regulatórios e estruturais

A consolidação da transição energética depende da superação de importantes limitações econômicas, institucionais e estruturais que ainda restringem a expansão das fontes renováveis. Entre esses obstáculos, destaca-se a necessidade de ampliar os mecanismos de financiamento e fortalecer as políticas públicas voltadas ao estímulo de

investimentos sustentáveis. Embora o custo das tecnologias limpas tenha apresentado redução significativa nos últimos anos, a disponibilidade de incentivos fiscais, linhas de crédito acessíveis e instrumentos financeiros específicos permanece determinante para viabilizar a implantação de novos empreendimentos e acelerar a substituição das fontes energéticas intensivas em carbono (SANTOS et al., 2025).

Nesse contexto, as políticas públicas assumem papel estratégico ao reduzir barreiras de mercado e criar condições favoráveis à expansão das energias renováveis. Instrumentos de incentivo fiscal, programas de financiamento e mecanismos de crédito direcionados contribuem para diminuir os custos de produção da eletricidade proveniente de fontes renováveis, estimulando a participação da iniciativa privada e ampliando a competitividade do setor. Além disso, o estabelecimento de metas claras para o aumento da participação dessas fontes na matriz energética constitui elemento fundamental para orientar investimentos de longo prazo e assegurar maior previsibilidade ao mercado energético (MAUAD; FERREIRA; TRINDADE, 2017).

Apesar das dificuldades existentes, a necessidade de promover a transição energética tornou-se incontestável diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas. A mitigação do aquecimento global está diretamente relacionada à redução da utilização de combustíveis fósseis e à ampliação do uso de fontes renováveis, uma vez que a permanência do atual padrão energético compromete a estabilidade climática, a conservação da biodiversidade e o equilíbrio dos ecossistemas.

Sob essa perspectiva, a expansão das energias renováveis representa não apenas uma exigência ambiental, mas também uma oportunidade para impulsionar a inovação tecnológica, fortalecer a competitividade econômica e promover novas possibilidades de desenvolvimento sustentável (VEIGA, 2019).

Além dos benefícios ambientais, a diversificação da matriz energética brasileira proporciona importantes ganhos econômicos e sociais. O fortalecimento da participação da biomassa, por exemplo, amplia a segurança do abastecimento energético, reduz a dependência de combustíveis fósseis e favorece o desenvolvimento de cadeias produtivas nacionais.

Ao mesmo tempo, essa diversificação contribui para estimular investimentos, gerar empregos e promover maior equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental, reforçando o potencial estratégico das fontes renováveis para o futuro da economia brasileira (MOREIRA, 2019).

Entretanto, a integração das energias renováveis ao sistema elétrico nacional depende da modernização da infraestrutura energética. Um dos principais desafios consiste na adaptação das redes elétricas tradicionais para atender às características das novas fontes de geração, assegurando maior estabilidade operacional, eficiência na transmissão e capacidade adequada de armazenamento da energia produzida. A expansão das energias solar e eólica exige redes mais inteligentes, resilientes e flexíveis, capazes de responder às oscilações inerentes à geração renovável e de garantir

elevado nível de confiabilidade no fornecimento de eletricidade (PEIXOTO; LUZ; BRITO, 2016).

A efetividade desse processo também está diretamente associada ao fortalecimento da economia verde. A articulação entre crescimento econômico e preservação ambiental possibilita ampliar os investimentos em tecnologias sustentáveis, estimular a inovação industrial e promover a geração de empregos vinculados às cadeias produtivas das energias renováveis. Assim, a transição energética não deve ser concebida isoladamente, mas integrada a um modelo de desenvolvimento que valorize simultaneamente a competitividade econômica, a sustentabilidade ambiental e a inclusão social (SANTOS *et al.*, 2025).

Embora os custos de implantação das usinas solares e eólicas tenham diminuído significativamente nas últimas décadas, o elevado investimento inicial ainda constitui importante fator limitante para diversos países, incluindo o Brasil. Esse cenário reforça a necessidade de políticas públicas capazes de ampliar o acesso ao financiamento, estimular investimentos privados e criar mecanismos financeiros que reduzam os riscos associados aos novos empreendimentos.

Dessa forma, o sucesso da transição energética depende não apenas da evolução tecnológica, mas também da existência de instrumentos econômicos que assegurem recursos suficientes para a implantação da infraestrutura necessária ao novo modelo energético (MAUAD; FERREIRA; TRINDADE, 2017).

Além das limitações financeiras, a expansão das energias renováveis exige aperfeiçoamentos significativos no

ambiente regulatório. Políticas governamentais consistentes, aliadas à construção de marcos legais estáveis e eficientes, tornam-se indispensáveis para promover a diversificação da matriz energética e assegurar maior segurança jurídica aos investidores. A inexistência de regras claras e de incentivos fiscais adequados reduz a atratividade do setor e dificulta a mobilização de recursos privados, retardando a velocidade da transição energética (ALVIM; BADIRU, 2014).

Nesse contexto, a governança ambiental assume papel central na coordenação das políticas públicas voltadas à sustentabilidade energética. O alinhamento entre políticas nacionais e compromissos internacionais fortalece as estratégias de redução das emissões de carbono e amplia a capacidade do país de cumprir suas metas climáticas. Assim, a viabilidade da transição energética depende da existência de compromisso político consistente, capaz de estimular a inovação tecnológica, promover a descarbonização da economia e consolidar um ambiente institucional favorável ao desenvolvimento sustentável (SANTOS et al., 2025).

Outro desafio consiste na implementação de mecanismos voltados à expansão das redes elétricas inteligentes e ao aperfeiçoamento dos modelos de governança energética. A eliminação das barreiras tecnológicas, associada ao desenvolvimento de estruturas de negociação, monitoramento e implementação de políticas energéticas, exige sistemas de governança mais integrados e eficientes.

Entretanto, a arquitetura institucional predominante ainda apresenta elevado grau de fragmentação e limitada coordenação entre os diferentes atores envolvidos,

circunstância que compromete a efetividade das políticas destinadas à promoção da transição energética (SIEBRA; ABREU, 2022).

Em complemento, políticas públicas voltadas à diversificação da matriz energética, à expansão das redes inteligentes e ao aumento da eficiência energética representam instrumentos indispensáveis para fortalecer a segurança do suprimento nacional. Entre os benefícios decorrentes dessas iniciativas destacam-se a modicidade tarifária, a redução das assimetrias de informação, o aperfeiçoamento dos processos regulatórios e a ampliação da participação da bioenergia na matriz energética.

A experiência internacional demonstra que países que adotam incentivos financeiros e regulatórios específicos conseguem ampliar de forma mais consistente a utilização da biomassa e reduzir suas emissões de gases de efeito estufa, evidenciando a importância das políticas públicas para o sucesso da transição energética (MOREIRA, 2019).

Perspectivas para uma transição energética justa, sustentável e resiliente

Embora os avanços tecnológicos e institucionais observados nas últimas décadas tenham impulsionado a expansão das energias renováveis, diversos fatores ainda dificultam uma transformação rápida e abrangente da matriz energética. Entre esses obstáculos destaca-se a denominada **dependência de trajetória** (*path dependence*), fenômeno caracterizado pela permanência de tecnologias, políticas

públicas e modelos produtivos que continuam sendo utilizados em razão dos benefícios acumulados ao longo do tempo, mesmo quando deixam de representar as alternativas mais eficientes ou sustentáveis.

Esse processo favorece a manutenção de estruturas consolidadas e dificulta a incorporação de soluções inovadoras, produzindo o denominado efeito de travamento (*lock-in*), que limita a capacidade de adaptação dos governos, das empresas e das instituições diante das novas exigências da transição energética (SIEBRA; ABREU, 2022).

Os mecanismos de *lock-in* manifestam-se em diferentes dimensões, podendo assumir natureza tecnológica, institucional ou relacionada à dependência de combustíveis fósseis. Em todos esses casos, verifica-se a existência de barreiras que restringem a substituição de tecnologias convencionais por alternativas de menor intensidade de carbono.

A superação desses entraves requer reformas institucionais, modernização dos instrumentos regulatórios e fortalecimento da capacidade de inovação dos diferentes agentes envolvidos no setor energético. Dessa forma, a transição energética exige mudanças estruturais capazes de romper padrões historicamente consolidados de produção, distribuição e consumo de energia (SIEBRA; ABREU, 2022).

Outro aspecto que assume crescente relevância refere-se à necessidade de assegurar que a descarbonização ocorra de maneira socialmente justa. A substituição gradual das fontes energéticas intensivas em carbono produz impactos econômicos sobre países, regiões, empresas, trabalhadores e

comunidades cuja estrutura produtiva permanece fortemente vinculada aos combustíveis fósseis.

Em razão disso, torna-se indispensável desenvolver mecanismos capazes de minimizar os efeitos socioeconômicos dessas transformações, promovendo políticas de qualificação profissional, proteção social, reconversão produtiva e cooperação tecnológica internacional. Somente dessa forma será possível compatibilizar os objetivos climáticos com a preservação do desenvolvimento econômico e da justiça social. (CASTRO *et al.*, 2024).

Sob uma perspectiva mais ampla, a transição energética envolve desafios que extrapolam a mera substituição das fontes de energia. A construção de um sistema energético sustentável requer profundas mudanças nas estruturas econômicas, tecnológicas e comportamentais da sociedade. A incorporação de novas tecnologias, a formulação de políticas públicas eficazes e a adaptação das práticas adotadas por empresas e consumidores constituem elementos indispensáveis para viabilizar essa transformação.

O crescimento contínuo da demanda por energia, impulsionado pela digitalização da economia e pela expansão de tecnologias como a inteligência artificial, amplia a pressão sobre os sistemas energéticos e reforça a necessidade de diversificação da matriz de geração. Nesse contexto, a diversidade da matriz energética brasileira representa importante vantagem estratégica ao reduzir a dependência de combustíveis fósseis e ampliar a segurança energética nacional (SILVA; LEÃO; SANTOS, 2025).

A experiência histórica demonstra que os processos de transição energética são marcados por elevada complexidade e por intensa resistência às mudanças. A permanência de fontes abundantes de energia intensivas em carbono, frequentemente competitivas em termos econômicos, favorece a manutenção do modelo energético convencional.

Além disso, interesses consolidados de setores industriais, grupos econômicos, organizações políticas e segmentos do mercado de trabalho tendem a dificultar a adoção das transformações necessárias, retardando a implementação das políticas de descarbonização e ampliando os custos da transição (MONTEIRO NETO, 2024).

Essas resistências manifestam-se também por meio de estratégias adotadas por setores vinculados à produção de combustíveis fósseis. Em diversas situações, observa-se que a expansão das fontes renováveis ocorre sem que haja redução proporcional da utilização das fontes convencionais.

Como consequência, verifica-se um processo de diversificação da matriz energética, mas não necessariamente uma diminuição absoluta da produção e do consumo de energias intensivas em carbono. Esse comportamento evidencia que a simples incorporação de tecnologias renováveis não garante, por si só, a efetiva descarbonização da economia, tornando indispensável a adoção de políticas públicas capazes de promover mudanças estruturais no padrão de consumo energético (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024).

Nesse sentido, a transição energética deve ser compreendida como um processo histórico, dinâmico e

multidimensional, caracterizado pela interação entre múltiplos atores, tecnologias, recursos naturais e instituições distribuídas em diferentes escalas territoriais.

A presença de mecanismos de dependência de trajetória, círculos viciosos e processos de travamento reforça a necessidade de uma atuação governamental igualmente complexa, baseada na utilização integrada de instrumentos regulatórios, incentivos econômicos, planejamento estratégico e mecanismos permanentes de coordenação institucional. Somente uma ação pública articulada será capaz de superar os obstáculos inerentes à transformação do sistema energético nacional (MONTEIRO NETO, 2024).

Outro desafio estratégico refere-se ao crescente papel desempenhado pelos minerais críticos indispensáveis à fabricação da infraestrutura necessária para a geração, transmissão e armazenamento de energia renovável.

A expansão da energia solar, da energia eólica, das baterias e da mobilidade elétrica aumenta significativamente a demanda por minerais específicos, podendo ampliar a dependência tecnológica de países importadores em relação aos grandes produtores desses insumos. Esse cenário cria novos desafios geopolíticos, nos quais determinadas economias poderão assumir posição dominante na cadeia global de fornecimento de equipamentos para energias limpas, influenciando preços, disponibilidade tecnológica e competitividade internacional (GASPAR FILHO; SANTOS, 2022).

A transição para uma economia de baixo carbono representa, portanto, uma transformação sem precedentes na organização da produção mundial.

Diferentemente das revoluções industriais anteriores, impulsionadas predominantemente por ganhos de produtividade decorrentes da inovação tecnológica, a atual transição é fortemente motivada pelo consenso científico, político e social acerca da urgência do enfrentamento das mudanças climáticas. Em consequência, cadeias produtivas inteiras são pressionadas a reduzir sua intensidade de carbono, incorporando novos processos produtivos, tecnologias mais eficientes e padrões sustentáveis de consumo e produção. (SANTOS et al., 2024).

Diante da natureza global desse desafio, a cooperação internacional assume papel decisivo para acelerar a transição energética. O intercâmbio de conhecimentos científicos, experiências regulatórias, inovações tecnológicas e mecanismos de financiamento permite reduzir custos de aprendizagem, evitar a repetição de erros observados em outras experiências e adaptar soluções às diferentes realidades nacionais.

Assim, a cooperação entre países fortalece a capacidade de implementação das políticas de descarbonização, amplia o acesso às tecnologias limpas e contribui para consolidar um modelo de desenvolvimento energético mais eficiente, resiliente e ambientalmente sustentável (SANTOS et al., 2024).

A transição energética brasileira configura-se como um processo estrutural de elevada complexidade, que

ultrapassa a simples substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia. Ao longo deste capítulo, evidenciou-se que essa transformação envolve dimensões tecnológicas, econômicas, ambientais, sociais, institucionais e geopolíticas, exigindo mudanças profundas na organização dos sistemas de produção, distribuição e consumo de energia.

Nesse contexto, o sucesso da transição depende da capacidade de articular políticas públicas, investimentos, inovação tecnológica e mecanismos de governança capazes de promover, simultaneamente, segurança energética, competitividade econômica e sustentabilidade ambiental (LAMPIS et al., 2021).

As análises apresentadas demonstram que o Brasil reúne condições particularmente favoráveis para desempenhar papel de destaque na transição energética mundial. A elevada participação das fontes renováveis em sua matriz energética, a ampla disponibilidade de recursos naturais, a experiência acumulada na produção de biocombustíveis e o potencial de expansão das energias solar e eólica constituem vantagens comparativas significativas.

Entretanto, essas potencialidades, por si sós, não asseguram a consolidação de um modelo energético sustentável. A efetivação desse processo depende da superação de entraves relacionados à infraestrutura, ao financiamento, ao ambiente regulatório, à governança institucional e às desigualdades sociais e territoriais que ainda caracterizam o setor energético nacional (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024).

Outro aspecto amplamente discutido refere-se ao fato de que a transição energética deve ser conduzida sob a perspectiva da justiça social e ambiental. A descarbonização da economia não pode resultar na ampliação das desigualdades, na intensificação dos conflitos territoriais ou na exclusão das populações diretamente afetadas pelos novos empreendimentos energéticos.

Ao contrário, torna-se imprescindível que os benefícios econômicos, ambientais e sociais decorrentes da expansão das energias renováveis sejam distribuídos de maneira equitativa, promovendo geração de emprego, inclusão produtiva, redução da pobreza energética e fortalecimento do desenvolvimento regional. Dessa forma, a denominada transição justa deixa de representar apenas um princípio normativo para assumir papel central na formulação das políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável (JANNUZZI, 2024).

Igualmente relevante é o reconhecimento de que os desafios da transição energética extrapolam os limites do setor elétrico. A modernização da infraestrutura, o fortalecimento das cadeias industriais associadas às tecnologias de baixo carbono, a ampliação da capacidade nacional de inovação, a formação de recursos humanos qualificados e a expansão das redes inteligentes de energia constituem fatores indispensáveis para consolidar uma economia menos intensiva em carbono.

A crescente demanda por minerais estratégicos, essenciais à produção de equipamentos para geração e armazenamento de energia, evidencia que a transição energética também produz novas configurações geopolíticas e

econômicas, exigindo planejamento de longo prazo e fortalecimento da capacidade industrial dos países (MIRANDA; BARBOSA; ITABAIANA, 2024).

Outro elemento decisivo identificado ao longo deste capítulo refere-se à importância da governança e da cooperação internacional. A experiência de diferentes países demonstra que a transição energética alcança resultados mais consistentes quando apoiada por instituições sólidas, marcos regulatórios estáveis, mecanismos de financiamento eficientes e políticas públicas articuladas entre diferentes níveis de governo. Da mesma forma, a cooperação internacional possibilita o compartilhamento de tecnologias, conhecimentos científicos, experiências regulatórias e instrumentos financeiros, acelerando a implementação das transformações necessárias e reduzindo os custos associados ao processo de descarbonização (LAMPIS et al., 2021).

Assim, a transição energética deve ser compreendida como um processo contínuo de transformação econômica, tecnológica e social, cuja efetividade dependerá da capacidade de integrar inovação, sustentabilidade e desenvolvimento humano. No caso brasileiro, os desafios identificados ao longo deste capítulo revelam que a construção de uma economia de baixo carbono exige não apenas investimentos em novas tecnologias, mas também reformas institucionais, fortalecimento da governança, ampliação da participação social e formulação de políticas públicas capazes de promover crescimento econômico com inclusão social e preservação ambiental.

Somente mediante essa abordagem integrada será possível consolidar uma transição energética que combine segurança do abastecimento, competitividade econômica, justiça socioambiental e compromisso efetivo com o enfrentamento das mudanças climáticas, contribuindo para a construção de um modelo de desenvolvimento verdadeiramente sustentável.

Conclusão

A análise desenvolvida ao longo desta obra evidencia que a transição energética constitui um dos processos de transformação mais abrangentes e complexos da contemporaneidade, envolvendo mudanças estruturais que extrapolam os limites do setor energético e alcançam praticamente todas as dimensões do desenvolvimento econômico, social, ambiental e institucional. Longe de representar apenas a substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis, a transição energética configura-se como uma profunda reorganização dos sistemas produtivos, dos padrões de consumo, das relações entre Estado, mercado e sociedade e das formas de utilização dos recursos naturais. Trata-se, portanto, de um fenômeno multidimensional cuja efetivação exige planejamento estratégico, inovação tecnológica, fortalecimento institucional e ampla articulação entre os diferentes atores envolvidos na formulação e implementação das políticas públicas.

Ao longo dos capítulos que compõem este livro, demonstrou-se que a crise climática constitui o principal vetor impulsionador dessa transformação. O aumento contínuo das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa, associado à crescente frequência de eventos climáticos extremos, evidencia a necessidade de redefinir os modelos de produção e consumo de energia que sustentaram o desenvolvimento

industrial durante os últimos dois séculos. Nesse contexto, a transição energética deixa de ser compreendida como uma alternativa opcional para assumir a condição de requisito indispensável à mitigação das mudanças climáticas, à preservação dos ecossistemas e à garantia das condições necessárias ao desenvolvimento das futuras gerações.

Todavia, a pesquisa também evidencia que a complexidade desse processo decorre da forte dependência histórica da economia mundial em relação aos combustíveis fósseis. Petróleo, carvão mineral e gás natural continuam desempenhando papel central não apenas na geração de energia, mas também no funcionamento de cadeias produtivas estratégicas responsáveis pela fabricação de fertilizantes, produtos químicos, aço, cimento, plásticos e inúmeros insumos indispensáveis à economia contemporânea. Essa realidade demonstra que a descarbonização não poderá ocorrer por meio de mudanças isoladas ou imediatas, exigindo uma transformação gradual da infraestrutura produtiva, dos sistemas industriais, dos transportes, da logística e dos padrões tecnológicos que sustentam a sociedade moderna.

Sob essa perspectiva, verificou-se que a transição energética deve ser compreendida como um processo de inovação sistêmica, no qual diferentes dimensões interagem permanentemente. Aspectos tecnológicos, econômicos, regulatórios, ambientais, sociais e geopolíticos apresentam elevado grau de interdependência, tornando inviável qualquer abordagem baseada exclusivamente na expansão das fontes renováveis. A construção de uma matriz energética sustentável depende igualmente da modernização das redes de

transmissão e distribuição, da incorporação de sistemas inteligentes de gerenciamento da energia, da expansão da capacidade de armazenamento, da digitalização da infraestrutura elétrica e da integração entre os setores de energia, transportes, telecomunicações e desenvolvimento urbano.

No caso brasileiro, a análise realizada permite reconhecer que o país reúne condições particularmente favoráveis para assumir posição de destaque na transição energética mundial. A elevada participação das fontes renováveis em sua matriz elétrica, a ampla disponibilidade de recursos naturais, a experiência consolidada na produção de biocombustíveis e o extraordinário potencial para expansão das energias solar e eólica constituem vantagens competitivas dificilmente encontradas em outras economias. Além disso, a diversidade territorial brasileira amplia as possibilidades de aproveitamento de diferentes fontes energéticas, favorecendo a construção de uma matriz mais diversificada, resiliente e ambientalmente sustentável.

Entretanto, essas vantagens comparativas não eliminam os desafios identificados ao longo deste estudo. A expansão das energias renováveis permanece condicionada à superação de limitações relacionadas à infraestrutura energética, ao ambiente regulatório, ao financiamento de longo prazo, à formação de recursos humanos qualificados e à capacidade institucional do Estado para coordenar políticas públicas complexas. Da mesma forma, verificou-se que a modernização do setor energético exige elevados investimentos em pesquisa científica, inovação tecnológica e

desenvolvimento industrial, fatores essenciais para reduzir a dependência tecnológica externa e ampliar a competitividade da economia nacional.

Outro aspecto amplamente discutido nesta obra refere-se à necessidade de compreender a transição energética sob a perspectiva da justiça social. A literatura analisada demonstra que a expansão das energias renováveis, embora apresente benefícios ambientais inquestionáveis, também pode produzir impactos territoriais, econômicos e sociais relevantes quando não acompanhada por mecanismos adequados de planejamento e participação democrática. A instalação de grandes empreendimentos energéticos, a valorização fundiária, os conflitos relacionados ao uso da terra e as transformações nas dinâmicas produtivas locais evidenciam que a sustentabilidade da transição depende igualmente da construção de processos decisórios transparentes, inclusivos e socialmente participativos.

Nesse contexto, ganha especial relevância o conceito de transição energética justa, que orienta parte significativa das discussões contemporâneas sobre desenvolvimento sustentável. Tal perspectiva reconhece que os custos e os benefícios decorrentes da descarbonização não podem ser distribuídos de forma desigual entre diferentes grupos sociais, regiões ou setores econômicos. Ao contrário, torna-se indispensável implementar políticas públicas capazes de promover qualificação profissional, geração de empregos verdes, proteção social, desenvolvimento regional e inclusão produtiva, assegurando que a transformação energética

contribua efetivamente para reduzir desigualdades e ampliar as oportunidades de desenvolvimento humano.

Essa abordagem revela que a transição energética não deve ser compreendida exclusivamente como uma agenda ambiental, mas como uma estratégia integrada de desenvolvimento nacional. Sua efetividade dependerá da capacidade de conciliar crescimento econômico, inovação tecnológica, competitividade industrial, segurança energética, preservação ambiental e inclusão social, permitindo que a construção de uma economia de baixo carbono se converta, simultaneamente, em instrumento de fortalecimento da soberania nacional, promoção da justiça socioambiental e melhoria da qualidade de vida da população.

Outro aspecto amplamente evidenciado ao longo desta obra refere-se ao papel estratégico da inovação tecnológica na consolidação da transição energética. A literatura analisada demonstra que os avanços científicos registrados nas últimas décadas contribuíram significativamente para ampliar a eficiência das tecnologias de geração renovável, reduzir seus custos de implantação e tornar economicamente competitivas alternativas que, até pouco tempo, apresentavam utilização restrita.

A rápida expansão da energia solar fotovoltaica, da energia eólica, dos sistemas de armazenamento, das redes inteligentes de distribuição e das tecnologias voltadas à produção de hidrogênio de baixo carbono revela que a inovação constitui um dos principais motores da transformação energética em escala global. Entretanto, também ficou evidente que a simples disponibilidade dessas

tecnologias não assegura sua ampla difusão, tornando indispensável à existência de políticas públicas capazes de estimular sua incorporação pelos diferentes setores produtivos e promover condições favoráveis ao investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação.

Essa constatação reforça a importância do fortalecimento dos sistemas nacionais de ciência, tecnologia e inovação como elemento estruturante da política energética. Ao longo do texto demonstrou-se que universidades, centros de pesquisa, agências de fomento e instituições públicas desempenham papel decisivo na produção do conhecimento científico necessário ao aperfeiçoamento das tecnologias energéticas e à formação de recursos humanos altamente qualificados.

Da mesma forma, a interação entre instituições acadêmicas, setor produtivo e órgãos governamentais favorece a construção de ambientes de inovação capazes de acelerar a transferência de conhecimento para o mercado, ampliar a competitividade industrial e consolidar cadeias produtivas associadas à economia de baixo carbono. Nesse sentido, a transição energética também representa uma oportunidade singular para fortalecer a capacidade tecnológica nacional e ampliar a inserção do Brasil nos segmentos mais dinâmicos da economia contemporânea.

Paralelamente aos avanços tecnológicos, a pesquisa evidenciou que a governança constitui um dos fatores mais determinantes para o êxito da transição energética. A transformação da matriz energética exige estruturas institucionais capazes de coordenar interesses frequentemente

divergentes, envolvendo governos, empresas, instituições financeiras, organizações da sociedade civil, universidades e comunidades locais. Em razão dessa diversidade de atores, a formulação de políticas públicas demanda mecanismos de articulação institucional, planejamento de longo prazo e estabilidade regulatória que proporcionem segurança aos investimentos e garantam continuidade às estratégias de descarbonização. Assim, a governança energética contemporânea ultrapassa os modelos tradicionais de administração pública, incorporando instrumentos participativos e mecanismos permanentes de coordenação entre diferentes níveis de governo e setores da economia.

A estabilidade institucional assume relevância ainda maior quando se considera o elevado volume de investimentos necessários para transformar a infraestrutura energética construída ao longo da era industrial. A substituição progressiva das fontes convencionais por sistemas baseados em energias renováveis exige recursos financeiros expressivos destinados à ampliação das redes de transmissão, modernização dos sistemas de distribuição, implantação de tecnologias de armazenamento, digitalização da infraestrutura elétrica e desenvolvimento de novas soluções para os setores de transporte, indústria e edificações. Em consequência, a disponibilidade de mecanismos de financiamento de longo prazo, incentivos econômicos e instrumentos regulatórios adequados torna-se condição indispensável para assegurar a continuidade dos investimentos necessários à consolidação de uma economia de baixo carbono.

A análise também permitiu constatar que a infraestrutura energética constitui um dos principais desafios da transição. As redes concebidas para um modelo centralizado de geração, fortemente apoiado em grandes usinas hidrelétricas e termelétricas, precisam ser adaptadas para incorporar fontes renováveis caracterizadas por maior descentralização e variabilidade operacional. A crescente participação da geração distribuída, dos sistemas fotovoltaicos, dos parques eólicos e das futuras cadeias produtivas do hidrogênio de baixo carbono exige uma infraestrutura mais inteligente, flexível e resiliente, capaz de integrar diferentes tecnologias e responder rapidamente às oscilações de oferta e demanda. Dessa forma, a modernização da infraestrutura deixa de representar apenas um investimento em eficiência operacional para assumir papel estratégico na garantia da segurança energética nacional.

Outro aspecto relevante identificado ao longo da obra refere-se à crescente importância da segurança energética como componente indissociável da sustentabilidade. As recentes crises internacionais demonstraram que sistemas excessivamente dependentes de combustíveis fósseis importados apresentam elevada vulnerabilidade diante de conflitos geopolíticos, oscilações de preços e interrupções nas cadeias globais de suprimentos. Nesse contexto, a diversificação da matriz energética passa a constituir importante instrumento de fortalecimento da autonomia nacional, reduzindo riscos associados à dependência externa e ampliando a capacidade dos países de responder às transformações do cenário internacional. Para o Brasil, essa

realidade representa oportunidade estratégica, considerando sua ampla disponibilidade de recursos energéticos renováveis e seu potencial para consolidar uma matriz diversificada e menos suscetível às instabilidades dos mercados internacionais.

Entretanto, a pesquisa também demonstrou que a expansão das energias renováveis não elimina automaticamente todos os impactos ambientais associados à produção de energia. A implantação de grandes parques eólicos e solares, a crescente demanda por minerais estratégicos destinados à fabricação de equipamentos e baterias e os conflitos relacionados ao uso do território evidenciam que mesmo as tecnologias consideradas limpas apresentam desafios ambientais e sociais que precisam ser cuidadosamente administrados.

Consequentemente, a sustentabilidade da transição energética depende da adoção de critérios rigorosos de planejamento territorial, avaliação de impactos ambientais, participação social e gestão integrada dos recursos naturais, evitando que a solução para um problema ambiental produza novas formas de degradação ou aprofundamento das desigualdades regionais.

Essa reflexão conduz ao entendimento de que a transição energética deve estar fundamentada nos princípios da sustentabilidade em sua concepção mais ampla. Isso significa reconhecer que desenvolvimento econômico, proteção ambiental e inclusão social constituem dimensões inseparáveis de um mesmo processo de transformação. A construção de uma economia de baixo carbono somente produzirá resultados

duradouros se for acompanhada pela promoção da justiça socioambiental, pela redução das desigualdades, pela valorização da ciência e da inovação e pelo fortalecimento das instituições democráticas responsáveis pela formulação e implementação das políticas públicas. Nesse sentido, a transição energética representa não apenas uma mudança tecnológica, mas uma oportunidade histórica para redefinir os fundamentos do desenvolvimento contemporâneo em bases mais sustentáveis, resilientes e socialmente inclusivas.

Outro aspecto que merece destaque refere-se às implicações geopolíticas decorrentes da transição energética. Ao longo da história, o controle das fontes fósseis de energia exerceu profunda influência sobre as relações internacionais, condicionando estratégias econômicas, disputas territoriais e políticas de segurança nacional. Na atualidade, observa-se o surgimento de uma nova configuração geopolítica, na qual minerais críticos, tecnologias limpas, cadeias produtivas de baterias, semicondutores, hidrogênio de baixo carbono e equipamentos destinados à geração renovável passam a ocupar posição central na dinâmica econômica mundial. Essa mudança demonstra que a transição energética não elimina as disputas por recursos estratégicos, mas redefine sua natureza, deslocando o eixo da competição internacional para novos segmentos industriais e tecnológicos de elevado valor agregado.

Nesse cenário, a crescente demanda por minerais estratégicos, como lítio, cobalto, níquel, cobre, grafita e elementos de terras raras, evidencia que a expansão das energias renováveis depende da constituição de novas cadeias

globais de suprimentos. A fabricação de baterias, painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, veículos elétricos e sistemas de armazenamento energético requer quantidades crescentes desses recursos minerais, ampliando sua relevância econômica e geopolítica. Consequentemente, países detentores dessas reservas naturais ou capazes de desenvolver tecnologias avançadas para seu beneficiamento tendem a assumir posição estratégica na nova economia de baixo carbono, influenciando fluxos comerciais, investimentos internacionais e políticas industriais.

Para o Brasil, esse contexto representa simultaneamente oportunidades e desafios. Além de possuir uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo, o país dispõe de expressivas reservas minerais, elevada biodiversidade, abundância de recursos hídricos, extensa incidência solar e excelentes condições para o aproveitamento da energia eólica, especialmente nas regiões Nordeste e Sul. Tais características conferem vantagens competitivas relevantes para a consolidação de uma economia sustentável baseada na produção de energia limpa, na industrialização de novas tecnologias e na inserção qualificada em cadeias globais de valor associadas à transição energética.

No entanto, o aproveitamento desse potencial dependerá da implementação de políticas industriais consistentes, da agregação de valor à produção nacional e da redução da dependência tecnológica em relação aos países líderes na fabricação de equipamentos e sistemas energéticos.

A pesquisa desenvolvida também permitiu evidenciar que a transição energética não pode ser analisada

exclusivamente sob a ótica da oferta de energia. A transformação dos padrões de consumo constitui componente igualmente indispensável para o alcance dos objetivos climáticos e da sustentabilidade.

A incorporação de tecnologias mais eficientes, a adoção de práticas voltadas ao uso racional da energia, a eletrificação dos transportes, o fortalecimento da economia circular e a valorização de modelos produtivos menos intensivos em recursos naturais demonstram que consumidores, empresas e governos compartilham responsabilidades na construção de um novo paradigma energético. Assim, a eficiência energética passa a ocupar posição tão estratégica quanto a expansão das fontes renováveis, reduzindo desperdícios, ampliando a produtividade e contribuindo para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa.

Nessa perspectiva, torna-se evidente que a educação ambiental e a formação de uma cultura de sustentabilidade desempenham papel essencial na consolidação da transição energética. A transformação das matrizes energéticas exige mudanças culturais capazes de modificar hábitos de consumo, fortalecer a participação cidadã e ampliar a compreensão da sociedade acerca dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Instituições de ensino, universidades, centros de pesquisa, meios de comunicação e organizações da sociedade civil assumem, portanto, função estratégica na difusão do conhecimento científico e na construção de uma consciência coletiva comprometida com a utilização responsável dos

recursos naturais. A formação de cidadãos ambientalmente conscientes contribui não apenas para ampliar a aceitação social das políticas de descarbonização, mas também para fortalecer mecanismos democráticos de participação na formulação das decisões relacionadas ao futuro energético.

Outro resultado relevante evidenciado nesta obra refere-se à necessidade de integração entre as políticas energéticas e as demais políticas públicas voltadas ao desenvolvimento nacional. A efetividade da transição energética depende de sua articulação com políticas industriais, científicas, tecnológicas, educacionais, ambientais, urbanas, agrícolas e de desenvolvimento regional. A fragmentação institucional frequentemente observada na administração pública reduz a eficiência das ações governamentais e compromete a capacidade de resposta diante dos desafios impostos pela descarbonização. Em contrapartida, abordagens integradas favorecem maior racionalidade na aplicação dos recursos públicos, fortalecem a coordenação entre diferentes setores e ampliam os impactos positivos das políticas de sustentabilidade.

A dimensão territorial também se revelou elemento indispensável para a compreensão da transição energética. As potencialidades e limitações associadas à produção de energia renovável variam significativamente entre regiões, refletindo diferenças relacionadas às condições naturais, à infraestrutura disponível, à organização econômica e às características sociais de cada território.

Em razão dessa diversidade, políticas públicas uniformes tendem a produzir resultados limitados, tornando

necessária a adoção de estratégias territorializadas que valorizem as especificidades locais e promovam maior equilíbrio entre desenvolvimento econômico, conservação ambiental e inclusão social. Essa abordagem fortalece a capacidade de planejamento regional e contribui para reduzir desigualdades historicamente presentes no processo de desenvolvimento brasileiro.

Finalmente, a reflexão desenvolvida ao longo deste livro permite concluir que a transição energética representa uma oportunidade singular para redefinir os fundamentos do desenvolvimento nacional. Ao promover a integração entre ciência, tecnologia, inovação, sustentabilidade e inclusão social, esse processo pode impulsionar uma nova etapa do desenvolvimento brasileiro, caracterizada por maior competitividade econômica, segurança energética e responsabilidade ambiental.

Entretanto, essa oportunidade somente será plenamente aproveitada se houver continuidade das políticas públicas, fortalecimento das instituições democráticas, ampliação dos investimentos em pesquisa e inovação e compromisso permanente com a construção de um modelo de desenvolvimento capaz de harmonizar crescimento econômico, justiça social e preservação dos recursos naturais.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **RenovaBio**. Rio de Janeiro: ANP, 2024.

ALVIM, M. C. P.; BADIRU, A. I. **Gestão ambiental sustentável**: desafios e oportunidades no Brasil. São Paulo: Senac, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima** (Volume II). Brasília: MMA, 2016.

_____. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional BEN 2024 - Ano base 2023**. Brasília: MME, 2025

BURSZTYN, M.; BURSZTYN, M. **Fundamentos de política e gestão ambiental**: caminhos para a sustentabilidade. Rio de Janeiro: Garamond, 2013.

CASTRO, F. F.; GÓES, G. S.; PEITER, C. C.; GÓES, G. S. Transição energética para fontes de energia renováveis e sua dependência por minerais críticos: Aspectos geoeconômicos, **Texto para Discussão, Nº. 3051 -** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2024.

CEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Balanço de Consumo e Geração 2022**. São Paulo: CEE, 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Roadmap eólica offshore Brasil**. Rio de Janeiro: EPE, 2020.

FAPESP. **Plano Científico Mudanças Climáticas 2020-2030**. São Paulo: Fapesp, 2021.

FERREIRA, L. F.; GONÇALVES E. A geografia das transições energéticas: uma abordagem sistemática dos determinantes regionais. **XX Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos (ENABER).** Salvador, 2022. **Anais**...

FRIGO, M. M.; CANEPPELE, F. L.; GODINHO, E. A transição energética sob uma perspectiva crítica. **Revista Eletrônica Multidisciplinar de Investigação Científica**, v. 2, n. 1, p. 1-10, 2023.

GALLO, A. H.; PROENÇA, H. H. D. M. Transição energética no Brasil entre 2019 e 2023: participação das matrizes energéticas no período e percepções. **Revista DELOS**, v. 18, n. 71, p. 1-23, 2025.

GASPAR FILHO, V.; SANTOS, T. Transição da Segurança Energética: energias limpas, minerais críticos e novas dependências. **Ambiente & Sociedade**, v. 25, p. 1-23, 2022.

GONZÁLES, C. G. M. **Transição energética global e desenvolvimento sustentável:** limites e possibilidades no capitalismo contemporâneo. Tese (Doutorado em Energia). Pós-graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 2018.

HOLMGREN, D. Permacultura: princípios e caminhos além da sustentabilidade. Tradução de Luzia Araújo. Porto Alegre: Via Sapiens, 2013.

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **A new world:** the geopolitics of the energy transformation: Global Comission on the Geopolitics of Energy Transformation; Irena, 2019.

JANNUZZI, G. M. Transição energética no Brasil. **Ciência & Cultura**, **v. 76, n. 3, p. 1-13, jul./set. 2024**.

KISSEL, J. **Transição Energética Justa**. Fundação Getúlio Vargas. Brasil, 2023.

LAMPIS, A. et al. **Possibilidades e limites da transição energética**: uma análise à luz da ciência pós-normal. Estudos Avançados, v. 35, n. 103, p. 183–200, set. 2021.

MATICOLLI, Gabriel. A transição energética e a descarbonização da economia: debate teórico e político. 75ª Reunião Anual da SBPC 2025. **Anais**...

MAUAD, F. F.; FERREIRA, L. da C.; TRINDADE, T. C. G. **Energia renovável no Brasil:** análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras. São Carlos: EESC/USP, 2017.

MIRANDA, F. G. D.; BARBOSA, R. S.; PAULA, A. M. N. R. de; ITABAINA, I. M. Desigualdades na Transição Energética: Uma análise crítica através da Justiça Ambiental. 34ª Reunião Brasileira de Antropologia, 2024. **Anais**...

MME. **Transição energética: a mudança de energia que o planeta precisa**. Brasília: MME, 2022.

MONTEIRO NETO, A. Transição energética: de que falamos afinal? contribuições ao debate sobre implementação de políticas públicas. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, n. 32, p. 11-25, jul.-dez., 2024.

MOREIRA, J. R. S. **Energias renováveis: geração distribuída e eficiência energética**. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

PEIXOTO, M. G.; LUZ, F. C.; BRITO, R. F. **Energias renováveis e sustentabilidade ambiental no Brasil**. Recife: EdUFPE, 2016

RIBEIRO, J. P.; OLIVEIRA, M. F. Políticas ambientais e inovação tecnológica: Caminhos para a redução das emissões de gases de efeito estufa. **Revista de Sustentabilidade e Meio Ambiente**, v. 15, n. 2, p. 45-63, 2020.

SANTOS, A. N. S. dos et al. Transição energética e preservação: integração de fontes renováveis, biodiversidade e economia verde em tempos de crise climática. **Revista Observatorio de la Economia Latinoamericana**, v. 23, n. 3, p. 1-37, 2025.

SANTOS, R. M.; ALMEIDA, L. Transição energética e reorganização dos sistemas produtivos: desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Energia Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 78-94, 2021.

SANTOS, R. R. dos; LEITE, C. B.; ALMEIDA, M.; SANTOS, E. P. C. dos. Desafios da transição energética: A renovabilidade da matriz elétrica em contexto global e suas implicações. **Revista Brasileira de Avaliação**, v. 13, n. 2 esp, e131824, 2024.

SIEBRA, A. A.; ABREU, M. C. S. de. Governança da Transição Energética na Perspectiva do Lugar: Um Campo Emergente de Estudo. XLVI Encontro da ANPAD - EnANPAD 2022, 21 a 23 de setembro de 2022. **Anais**…

SILVA, T. A. A. da; PIMENTEL, P. E. O. Transição energética: impactos e resistência no mundo rural. 11º Encontro da Rede de Estudos Rurais. Rede de Estudos Rurais, 2025, **Anais**.

SMIL, V. **Energy and civilization**: A history. Cambridge: MIT Press, 2024.

SVAMPA, M; BERTINAT, P. (orgs). **La transición energética en la Argentina**: Una hoja de ruta para entender los proyectos en pugna y las falsas soluciones. Buenos Aires: Siglo Veintiuno Editores, 2022.

VEIGA, J. E. da. **A descarbonização da economia global**: desafios e oportunidades. São Paulo: Editora 34, 2019.

Sobre os autores

José Ozildo dos Santos
Professor universitário, doutorando do PPGEGRN/UFCG. Mestre em Sistemas Agroindustriais e mestrando em Desenvolvimento Regional. Possui cursos de especialização em diversas áreas com destaque para Educação Ambiental, Direito Ambiental, Direito do Agronegócio, Inteligência Artificial, Docência do Ensino Superior, Direito Digital, Empreendedorismo, História Local, Direitos Humanos, Direito Administrativo e Constitucional, Gestão Pública, Gestão Empresarial, Direito Empresarial e Direito Público. Atua nas de sustentabilidade, gestão ambiental, administração e saúde pública, educação ambiental, gestão da qualidade, história local e inclusão escolar/Língua Brasileira de Sinais. Membro do Grupo Verde de Agroecologia e Abelha (GVAA). Fundador e presidente do Grupo de Estudos Avançados em Semiárido (GEASE). Membro da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) e da Sociedade Brasileira de Teoria e História da Historiografia, além de outras instituições nacionais de cultura. Escritor, ensaísta, historiador, etnólogo e bibliógrafo. Autor de diversos perfis biográficos e de vários livros sobre a história dos municípios paraibanos, educação inclusiva, gestão pública, sustentabilidade ambiental e gestão da qualidade, como também organizador de várias coletâneas.
E-mail: joseozildo2018@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0008-7133-5058

Gilliard Cruz Targino
Professor da Unidade Acadêmica de Direito da Universidade Federal de Campina Grande (Campus Sousa). Graduado em

Direito pela Universidade Federal de Campina Grande. Mestre em Sistemas Agroindustriais e Especialista em Direito Processual Civil. Autor de vários estudos na área de direito e meio ambiente. Atualmente é coordenador do Projeto de Extensão *'O Direito ao Alcance de Todos'*.
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-6165-795X

Sílvio Marcos Lima de Carvalho
Mestre em Economia (UFPE). Graduado em Ciências Econômicas (UFCG). Atua como Gerente de Agência no Banco do Nordeste do Brasil e como professor de economia em cursos de pós-graduação. Conselheiro Fiscal Titular do Sebrae/PB. Presidente do Conselho Fiscal da Fundação PaqTcPB, no quadriênio 2025–2028. Participou de diversos eventos acadêmicos e publicou trabalhos em congressos nacionais e internacionais. Possui formação complementar em instituições de referência como FGV, AMANA-KEY, EMBRAPA, ANBIMA e USP/PENSA, ampliando sua visão sobre gestão, inovação, agronegócio e mercados financeiros. Construiu trajetória sólida nas áreas de investimentos, risco de crédito, taxa de recuperação, inadimplência, análise de investimentos, projetos de inovação, ratings e crédito de carbono, atuando de forma integrada entre finanças, estratégia e desenvolvimento empresarial.
E-mail: **carvalhosml@gmail.com**

Abdalan Andrade do Nascimento
Mestrando em Gestão de Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande. Especialista em Auditoria em Saúde pelo Centro de Educação em Saúde da Paraíba. Bacharel em Enfermagem pela União de Ensino Superior de Campina Grande. Possui artigos publicados nas áreas de Ciências Ambientais, Geoprocessamento e Segurança Hidríca.
E-mail: abdalanandrade@gmail.com

Orcid: https://orcid.org/0009-0005-4606-4071

Laplace Guedes Alcoforado de Carvalho
Professor de Direito Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em Direito Ambiental pela Universidade Caxias do Sul. Pesquisador do Grupo de Pesquisa sobre os Impactos das Enchentes no Brasil: A Implementação das Cidades-Esponja como Proposta para Evitar Acidentes Ambientais e Eventos Extremos Decorrentes de Desastres Naturais e do Grupo de Pesquisa DAER - Direito Ambiental e Energias Renováveis. Advogado. Membro consultor da Comissão Nacional de Educação, Conselheiro da OAB/PB. Membro da Comissão de Direito Ambiental da OAB/PB.
E-mail: laplaceguedes@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0005-9727-8694

Pedro Fernando Donça
Doutorando em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais (UFCG)Área de Estudo: Desenvolvimento Sustentável e Indicadores de Sustentabilidade. Professor a tempo parcial nas disciplinas de Governaçäo Local e Matématica Aplicada a Administração na Universidade Zambeze e Universidade Católica de Moçambique, respectivamente. Mestre Profissional em Administração Pública pela Universidade Joaquim Chissano – Maputo - Moçambique. Funcionário Público, na Carreira de Técnico Superior N1, afecto à Universidade Zambeze – Beira - Moçambique. Licenciado em Ensino de Física pela Universidade Licungo, extinta Universidade Pedagógica de Moçambique – Delegação da Beira.
E-mail: pedrodonca@ymail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0008-9547-9822

Sindia Mara Pereira da Silva Rodrigues
Bacharela em Biomedicina pelo Centro Universitário Maurício de Nassau, Especializanda em Hematologia Clínica (UNIFIP). Integrante da Associação dos Biomédicos da Paraíba (AbioPB). Idealizadora e mantenedora da página científica e de divulgação profissional Pontuando a Biomedicina. Atua como Patologista Clínica no Instituto de Saúde Elpídio de Almeida (ISEA). É instrutora em cursos profissionalizantes nas áreas de Farmácia, Laboratório e Enfermagem, com atuação nas instituições Grau Técnico, Central de Ensino Aplicado à Saúde (CEAS) e Instituto de Educação Profissional da Paraíba (IEPB), onde também exerce a função de Responsável Técnica do Laboratório de Análises Clínicas. Participa ativamente de eventos científicos, treinamentos e possui trabalhos apresentados e publicados em anais de congressos, nas áreas de Genética, Hematologia, Virologia, Biologia Molecular e Saúde Pública. É graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental (UEPB) e aluna da Pós-Graduação em Ecodesign, Economia Circular e Responsabilidade Ambiental (UFPB). Idealizadora do Projeto Rural em São José da Mata, em andamento, que compreende o desenvolvimento do Meliponário Escola para Farmácia Viva, voltado à pesquisa de própolis, mel e cera, bem como à criação de abelhas nativas para geração de renda e preservação ambiental.

Girlene Cordeiro de Lima Santos
Atualmente é Pós-doutoranda no programa de Pós-graduação em Zootecnia (PPGZ) na Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Possui Doutorado e mestrado em Zootecnia, na área de Nutrição de Ruminantes pela mesma universidade. Concluiu o curso Bacharelado em Zootecnia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST). Possui mestrado em Zootecnia pela mesma universidade. Desenvolve pesquisas

voltadas à nutrição e alimentação animal. Especificamente, trabalha com revisões sistemáticas, metanálise, experimentação e investigações voltadas à nutrição de pequenos e grandes ruminantes. Além disso, possui vocação para o ensino, pesquisa e extensão. Tem competência em técnicas laboratoriais para avaliação da produção de ruminantes em ambiente Semiárido, o uso de compostos bioativos da Caatinga na saúde e nutrição animal, com conhecimentos nas áreas de bioquímica da nutrição, tecnologia alimentar, análises de alimentos, fisiologia da digestão e microbiologia do rúmen.

E-mail: girlenecordeiross@gmail.com
Lattes: http://lattes.cnpq.br/4558322505455643
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-6979-6321

Bruno de Araújo Azevedo

Auditor na Universidade Federal de Campina Grande. Advogado. Doutorando em Gestão de Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Administração Pública pela Universidade Federal de Campina Grande (2018). Especialista em Direito Público pela Faculdade Legale (2021). Graduado em Direito pela Universidade Estadual da Paraíba (2014) e em Geografia pela Universidade Estadual da Paraíba (2022).

E-mail: bruno8809@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-6215-5281

Wanderlan Waldez de Sousa Figueredo

Advogado, Mestrando em Desenvolvimento Regional na Universidade Estadual da Paraíba. Possui curso de Aperfeiçoamento em Administração Publica pelo Tribunal de Contas da Paraíba, Especialização em Direito Administrativo pela Universidade Federal de Pernambuco e em Gestão Pública, pela Universidade Estadual da Paraíba

Orcid: https://orcid.org/0009-0008-2167-0309

Helenaldo Firmino de Azevedo
Graduado em Desenho Industrial pela Universidade Federal da Paraíba (2001). Especialista em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Campina Grande (2007). Mestre em Design pela Universidade Federal de Campina Grande (2016). Professor da Área de Expressão Gráfica e Coordenador de Estágio da Unidade Acadêmica de Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Campina Grande.

O'neill Guedes Alcoforado de Carvalho
Graduado em Direito pela UFPB, Analista judiciário lotado na Comarca de Belém-PB, Especialista em Gestão Cartorária Judicial.
Orcid: https://orcid.org/0009-0004-9177-4868

Cláudia Carneiro de Azevedo
Possui graduação em Farmácia pela Universidade Federal da Paraíba, Especialização em Saúde Coletiva, Especialização em Gestão da Assistência Farmacêutica e Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal da Paraíba. Tem experiência nas áreas de Análises Clínicas, Farmácia Hospitalar, Bioquímica. Técnica em Laboratório do IFPB. Autora do livro 'Modificação química das proteínas de amêndoas da munguba (*Pachira aquatica Aubl*): Propriedades funcionais. Publicou vários estudos na área de saúde e meio ambiente.

Gease